



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА»

**КАФЕДРА ОБЩЕЙ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИКИ**

СОГЛАСОВАНО  
Директор института  
магистратуры и аспирантуры  
 О.А. Бодров  
«22» 06 2020 г.

Заведующий кафедрой Общей и  
экспериментальной физики  
 М.В. Дубков  
«22» 06 2020 г.

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по РОПиМД  
 А.В. Корячко  
2020 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

### ДИСЦИПЛИНЫ

**К.М.01.ДВ.03.01 «ФИЗИКА ЭЛЕКТРОННЫХ И ИОННЫХ ПРОЦЕССОВ»**

Направление подготовки – 03.06.01 Физика и астрономия  
ОПОП – «Приборы и методы экспериментальной физики»

Квалификация выпускника – Исследователь. Преподаватель-  
исследователь

Формы обучения – очная, заочная

Рязань 2020

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (подготовка кадров высшей квалификации), утвержденного приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 867.

Разработчик  
Заведующий кафедрой  
Общей и экспериментальной физики,  
д.т.н., доцент



М.В. Дубков

Программу обсуждена и одобрена на заседании кафедры Общей и экспериментальной физики,  
протокол № 8 от «25» июня 2020 г.

Заведующий кафедрой  
Общей и экспериментальной физики,  
д.т.н., доцент



М.В. Дубков

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Рабочая программа по дисциплине «Физика электронных и ионных процессов» является составной частью основной профессиональной образовательной программы «Приборы и методы экспериментальной физики» по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 Физика и астрономия, разработанной в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия (подготовка кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Минобрнауки России от 30.07.2014 г. № 867.

В дисциплине «Физика электронных и ионных процессов» рассматриваются вопросы эмиссии электронов и ионов поверхностями твердых тел в вакууме и газах. Эти явления играют ведущую роль в электронных и ионных приборах, являются основой современных методов диагностики поверхности твердых тел и методов анализа вещества и составляют предмет физической электроники. Эта дисциплина направлена на изучение аспирантами с методами исследования эмиссионных систем, применением их в приборах электронной техники.

В процессе изучения данной дисциплины у аспирантов должны сформироваться знания о фундаментальных свойствах и общих закономерностях существующих эмиссионных явлений электронов и ионов при различных взаимодействиях электромагнитных излучений, потоков электронов и ионов с твердым телом; закономерностях формирования электронных и ионных потоков в электрических и магнитных полях, являющихся основой электронной и ионной оптики.

В задачи дисциплины также входит:

- совершенствование навыков профессионального изложения научного, экспериментального и теоретического материала в виде докладов, презентаций, научных публикаций; умения теоретически обосновать явления, обусловленные физическими процессами в электронных приборах;
- совершенствование навыков организации научно-исследовательской и научно-методической работы;
- применение приобретенных теоретических и практических знаний для решения конкретных задач при подготовке выпускных работ, в научно-исследовательской, а также дальнейшей профессиональной деятельности.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **знать** фундаментальные свойства и общие закономерности существующих эмиссионных явлений;
- **уметь** на основе известных физических законов составлять уравнения, описывающие электронные и ионные потоки в электрических и магнитных полях;

- **владеть** практическими навыками расчета различных эмиссионных процессов в электронных и ионных системах.

### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

Коды компетенций	Результаты освоения ОПОП Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<p><u>Знать</u>: инновационные и вариативные концепции, модели, технологии и приемы организации и проведения экспериментальных исследований в области физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p> <p><u>Уметь</u>: применять на практике основные приемы организации и проведения экспериментальных исследований в области физики, современные методы исследования и информационно-коммуникационные технологии, анализировать экспериментальные результаты и обосновывать полученные выводы.</p> <p><u>Владеть</u>: методами организации и проведения экспериментальных исследований в области физики с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий</p>
ПК-1	Способность модернизировать известные и разрабатывать новые методики и методы физических измерений	<p><u>Знать</u>: основные принципы и методы измерений физических величин, основанных на современных достижениях в различных областях физики.</p> <p><u>Уметь</u>: модернизировать известные и разрабатывать новые методики измерений физических величин.</p> <p><u>Владеть</u>: методологией модернизации и разработки новых методик измерений физических величин.</p>
ПК-3	Способность моделировать физические явления и процессы в электронных приборах с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	<p><u>Знать</u>: методы и приемы моделирования физических явлений и процессов в электронных приборах с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.</p> <p><u>Уметь</u>: моделировать физические явления и процессы в электронных приборах с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.</p> <p><u>Владеть</u>: методами и приемами моделирования физических явлений и процессов в электронных приборах с использованием современных информационно-коммуникационных технологий</p>

ПК-4	Способность обрабатывать и интерпретировать экспериментальные результаты исследования физических процессов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий	<p><u>Знать:</u> концепции, модели, технологии и приемы организации и проведения экспериментальных исследований с применением современных средств и методов обработки и представления экспериментальных данных на основе информационно-коммуникационных технологий.</p> <p><u>Уметь:</u> обрабатывать и интерпретировать экспериментальные результаты исследования физических процессов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий.</p> <p><u>Владеть:</u> методами и приемами обработки и интерпретации экспериментальных результатов исследования физических процессов с использованием современных информационно-коммуникационных технологий на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение</p>
------	---	--

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП И СРОКИ ПРОВЕДЕНИЯ

Дисциплина «Физика электронных и ионных процессов» (К.М.01.ДВ.03.01) относится к вариативной части комплексного дисциплин (модулей) по выбору учебного плана направления подготовки – 03.06.01 «Физика и астрономия»; ОПОП «Приборы и методы экспериментальной физики».

Дисциплина изучается аспирантами по очной форме обучения на 3-м курсе, в 6-м семестре, по заочной - на 4-м курсе.

Объем составляет 72 часа (2 зачетных единицы) по очной и заочной формам обучения.

До начала изучения дисциплины обучающиеся должны:

**знать:**

- фундаментальные физические законы и процессы;
- основные тенденции развития и проблемы в области экспериментальной физики;

**уметь:**

- осуществлять поиск источников литературы с привлечением современных информационных технологий;
- составлять математические уравнения известных физических законов;

**владеть:**

- базовой терминологией;
- методологическими основами математического моделирования.

Дисциплина «Физика электронных и ионных процессов» является основой для подготовки научно-квалификационной работы аспиранта.

### **3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ В ЗАЧЕТНЫХ ЕДИНИЦАХ С УКАЗАНИЕМ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ, ВЫДЕЛЕННЫХ НА КОНТАКТНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ПРЕПОДАВАТЕЛЕМ (ПО ВИДАМ ЗАНЯТИЙ) И НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единицы (72 часа).

Вид учебной работы	Всего часов	
	Очная форма	Заочная форма
Общая трудоёмкость дисциплины, в том числе:	72	72
Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего), в том числе:	26,25	12,25
Лекции	18	6
Практические занятия	8	6
Консультации	-	
ИКР	0,25	0,25
Самостоятельная работа	37	56
Контроль	8,75	3,75

### **4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ (РАЗДЕЛАМ) С УКАЗАНИЕМ ОТВЕДЕННОГО НА НИХ КОЛИЧЕСТВА АКАДЕМИЧЕСКИХ ЧАСОВ И ВИДОВ УЧЕБНЫХ ЗАНЯТИЙ**

#### **4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам)**

Раздел	Содержание
1. Введение.	Краткие сведения о содержании курса и его особенностях. Место эмиссионной электроники в обеспечении научно-технического прогресса. Квантовые представления о поведении электронов в твердом теле, энергетические зоны, заполнение зон, уровень Ферми. Поверхностный потенциальный барьер. Работа выхода электронов из твердого тела.
2. Термоэлектронная эмиссия.	Основное уравнение термоэлектронной эмиссии. Влияние электрического поля на ток эмиссии с однородной и неоднородной поверхности. Поправка Шоттки. Нормальный и аномальный эффект Шоттки. Поле

	«пятен». Определение термоэмиссионных констант методом регистрации токов термоэлектронов и контактной разности потенциалов. Термоэмиссионные константы граней кристаллов. Распределение термоэлектронов по энергиям. Термоэлектронная эмиссия со сложных поверхностей. Эффективные термокатоды.
3. Фотоэлектронная эмиссия.	Основные законы фотоэффекта. Влияние электрического поля и температуры на фотоэлектронную эмиссию. Спектральные характеристики фотоэлектронной эмиссии. Роль поляризации света. Основы теории Фаулера для фотоэффекта. Квантово-механическая теория фотовозбуждения электронов твердого тела. Распределение фотоэлектронов по энергиям. Эффективные фотокатоды. Эмиттеры с отрицательным электронным средством.
4. Вторичная электронная эмиссия.	Основные закономерности. Процессы рассеяния первичных электронов различной энергии в твердом теле. Зависимость интегрального коэффициента вторичной эмиссии от энергии первичных электронов. Распределение вторичных электронов по энергиям. Оже-электроны, характеристические потери энергии. Эффективные вторично-электронные катоды. Понятие о различных видах вторично-электронной спектроскопии, растровой электронной микроскопии, дифракции электронов и ее применении. Вторичная ионно-электронная эмиссия. Основные механизмы эмиссии при ионном облучении поверхности тел. Вторичная ионно-ионная эмиссия (катодное распыление). Обратное рассеяние ионов.
5. Термоионная эмиссия	Термоионная эмиссия (поверхностная ионизация). Основное уравнение. Применение в диагностике поверхности твердых тел.
6. Автоэлектронная (полевая) эмиссия.	Основное уравнение автоэлектронной эмиссии. Прозрачность потенциального барьера у поверхности. Термоавтоэлектронная эмиссия. Экспериментальное исследование автоэлектронной эмиссии. Создание сильноточных источников электронов. Многоострийные автокатоды. Взрывная эмиссия. Автоионизация и полевое испарение. Основные закономерности. Уравнение автоионного тока..
7. Экзоэлектронная эмиссия.	Экзоэлектронная эмиссия. Ее основные закономерности. Термо- и фотостимулированная экзоэмиссия. Применение экзоэмиссии в диагностике поверхности твердых тел.

## 4.2. Разделы дисциплины и трудоемкость по видам учебных занятий (в академических часах)

### Очная форма обучения

Темы	Общая трудоемкость	Контактная работа аспирантов с преподавателем					Контроль	Самостоятельная работа
		Всего	Лекции	Практические занятия	Консультации	ИКР		
Введение.	3	2	2					1
Термоэлектронная эмиссия.	12	6	4	2				6
Фотоэлектронная эмиссия.	10	4	2	2				6
Вторичная электронная эмиссия.	11	5	4	1				6
Термоионная эмиссия	9	3	2	1				6
Автоэлектронная (полевая) эмиссия.	9	3	2	1				6
Экзоэлектронная эмиссия.	9	3	2	1				6
	9	0,25				0,25	8,75	
Всего	72	50,25	18	8	-	0,25	8,75	37

### Заочная форма обучения

Темы	Общая трудоемкость	Контактная работа аспирантов с преподавателем					Контроль	Самостоятельная работа
		Всего	Лекции	Практические занятия	Консультации	ИКР		
Введение.	2,5	0,5	0,5					2
Термоэлектронная эмиссия.	11	2	1	1				9
Фотоэлектронная эмиссия.	11	2	1	1				9
Вторичная электронная эмиссия.	11	2	1	1				9



Термоионная эмиссия	11	2	1	1				9
Автоэлектронная (полевая) эмиссия.	11	2	1	1				9
Экзоэлектронная эмиссия.	10,5	1,5	0,5	1				9
	4	0,25				0,25	3,75	
Всего	72	12,25	6	6	-	0,25	3,75	56

## 5 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методическое обеспечение дисциплины включает в себя пособия, рекомендованные для самостоятельной работы аспиранта, инструкции по эксплуатации исследовательского оборудования.

Во время изучения дисциплины аспирант осуществляет сбор, обработку и систематизацию фактического и литературного материала к научно-квалификационной работе, подготовку к сдаче зачета.

## 6 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в виде оценочных материалов и приведен в Приложении.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

*а) основная:*

1. Фридрихов С.А., Мовнин С.М. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1982. – 608 с.
2. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1979. – 448 с.
3. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. – М.: Наука, 1966. – 564 с.
4. Шуппе Г.Н. Вопросы электронных и ионных эмиссий: Учебное пособие. – Рязань, 2006. – 84 с.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. – М.: Наука, 2009. – 736 с.

*б) дополнительная:*

1. Бронштейн И.М., Фрайман В.С. Вторичная электронная эмиссия. – М.: Наука, 1969. – 407 с.
2. Жигарев А.А. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы. – М.: Высшая школа, 1972. – 539 с.

3. Шешин Е.П. Структура поверхности и автоэмиссионные свойства углеродных материалов. – М., Изд-во МФТИ, 2001. – 288 с

## **8. РЕСУРСЫ ИНФОРМАЦИОННО–ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ ИНТЕРНЕТ, БАЗЫ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫЕ И ПОИСКОВЫЕ СИСТЕМЫ**

Обучающимся предоставлена возможность индивидуального доступа к следующим электронно-библиотечным системам:

– Электронно-библиотечная система «Лань», режим доступа – с любого компьютера РГРТУ без пароля. – URL: <https://e.lanbook.com/>

– Электронно-библиотечная система «IPRbooks», режим доступа – с любого компьютера РГРТУ без пароля, из сети интернет по паролю. – URL: <https://iprbookshop.ru/>.

## **9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

### ***Работа обучающегося на лекции***

Только слушать лекцию и записывать за лектором все, что он говорит, недостаточно. В процессе лекционного занятия обучающийся должен выделять важные моменты, выводы, анализировать основные положения. Прослушанный материал лекции аспирант должен проработать. От того, насколько эффективно он это сделает, зависит и прочность усвоения знаний, и, соответственно, качество восприятия предстоящей лекции, так как он более целенаправленно будет её слушать. Необходим систематический труд в течение всего семестра.

При написании конспекта лекций следует придерживаться следующих правил и рекомендаций.

1. Конспект нужно записывать «своими словами» лишь после того, как излагаемый лектором тезис будет вами дослушан до конца и понят.

2. При конспектировании следует отмечать непонятные, на данном этапе, места; записывать те пояснения лектора, которые показались особенно важными.

3. При ведении конспекта рекомендуется вести нумерацию разделов, глав, формул (в случае, если лектор не заостряет на этом внимание); это позволит при подготовке к сдаче зачета не запутаться в структуре лекционного материала.

4. Рекомендуется в каждом более или менее законченном пункте выразить свое мнение, комментарий, вывод.

При изучении лекционного материала у аспиранта могут возникнуть вопросы. С ними следует обратиться к преподавателю после лекции.

В заключение следует отметить, что конспект каждый аспирант записывает лично для себя. Поэтому конспект надо писать так, чтобы им было удобно пользоваться.

### ***Подготовка к практическим занятиям***

Практические занятия по изучению материала дисциплины существенно дополняют лекции. В процессе анализа материала аспиранты расширяют и углубляют знания, полученные из лекционного курса и учебников, учатся глубже понимать физические законы и процессы, разбираться в их особенностях, границах применения, приобретают умение применять общие закономерности к конкретным случаям. В процессе практических занятий вырабатываются навыки применения вычислительной техники, работы со справочной литературой, таблицами.

В часы самостоятельной работы аспиранты должны рассматривать вопросы, с которыми они не успели разобраться во время аудиторных занятий. Отсутствие спешки на таких занятиях (которая нередко бывает на учебных занятиях из-за недостатка времени и напряженности рабочего плана) несомненно должно дать положительный эффект.

### ***Подготовка к сдаче зачета***

Зачет – форма промежуточной проверки знаний, умений, навыков, степени освоения дисциплины.

Главная задача зачета состоит в том, чтобы у аспиранта из отдельных сведений и деталей составилось представление об общем содержании соответствующей дисциплины, стала понятной методика предмета, его система. Готовясь к зачету, аспирант приводит в систему знания, полученные на лекциях, на практических занятиях, разбирается в том, что осталось непонятным, и тогда изучаемая им дисциплина может быть воспринята в полном объеме с присущей ей строгостью и логичностью, ее практической направленностью.

На зачете оцениваются:

- 1) понимание и степень усвоения теории;
- 2) методическая подготовка;
- 3) знание фактического материала;
- 4) знакомство с основной и дополнительно литературой, а также с современными публикациями по данному курсу;
- 5) умение приложить теорию к практике;
- 6) знакомство с историей науки;
- 7) логика, структура и стиль ответа, умение защищать выдвигаемые положения.

Но значение зачетов не ограничивается проверкой знаний. Являясь естественным завершением работы аспиранта, они способствуют обобщению и закреплению знаний и умений, приведению их в строгую систему, а также устранению возникших в процессе занятий пробелов.

Подготовка к зачету не должна ограничиваться беглым чтением лекционных записей, даже, если они выполнены подробно и аккуратно. Механического заучивания также следует избегать, поскольку его нельзя назвать учением уже потому, что оно создает внутреннее сопротивление какому бы то ни было запоминанию и, конечно, уменьшает память. Более надежный и целесообразный путь – это тщательная систематизация материала

при вдумчивом повторении, запоминании формулировок, установлении внутрипредметных связей, увязке различных тем и разделов, закреплении путем решения задач.

Подготовку к зачетам следует начинать с общего планирования своей деятельности в период промежуточной аттестации, с определения объема материала, подлежащего проработке. Необходимо внимательно сверить свои конспекты с программой, чтобы убедиться, все ли разделы отражены в лекциях. Отсутствующие темы законспектировать по учебнику. Более подробное планирование на ближайшие дни будет первым этапом подготовки к очередному зачету. Второй этап предусматривает системное изучение материала по данному предмету с обязательной записью всех выкладок, выводов, формул. На третьем этапе - этапе закрепления – полезно чередовать углубленное повторение особенно сложных вопросов с беглым повторением всего материала.

#### **10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для выполнения практических задания аспирант может использовать любой свободно распространяемый программный продукт, как для создания собственных программ расчетов, так и для обработки полученных данных.

При проведении самостоятельной работы обучающихся используются следующие информационные технологии:

- доступ в сеть Интернет, обеспечивающий, поиск актуальной научно-методической и научно-технической информации;
- необходимое программное обеспечение для выполнения программы дисциплины, установленное в вузе, а также для выполнения самостоятельной работы:
  1. Операционная система Windows XP (Microsoft Imagine, 700102019)
  2. Kaspersky Endpoint Security
  3. Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

#### **11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Для освоения дисциплины необходимы следующие материально-технические ресурсы:

- 1) аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации;
- 2) компьютерный класс для проведения практических занятий и самостоятельной работы, оснащенный индивидуальной компьютерной техникой с подключением к локальной вычислительной сети и сети Интернет.