

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

Актуализировано:
на заседании кафедры
протокол от «20» июня 2017 г. №7
Зав. кафедрой _____ / Салихов Р.Б.

Согласовано:
Председатель УМК ФТИ

_____ / Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

дисциплина **ВАКУУМНАЯ И ПЛАЗМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

(наименование дисциплины)

Базовая дисциплина

(Цикл дисциплины и его часть (базовая, вариативная, дисциплина по выбору))

11.03.04 электроника и нанoeлектроника,

(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))

Направленность (профиль) подготовки

«Электронные приборы и устройства»

(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)

Квалификация

бакалавр

(указывается квалификация)

Разработчик (составитель) профессор, д.ф.-м.н., <i>(должность, ученая степень, ученое звание)</i>	_____ _____ / Юмагузин Ю.М. <i>(подпись, Фамилия И.О.)</i>
---	--

Для приема: 2016 г.

Уфа 2017г.

Составитель / составители: д.ф.-м.н., профессор Юмагузин Ю.М.

Рабочая программа дисциплины актуализирована на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и наноэлектроники протокол от «20» июня 2017 г. №7

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры инфокоммуникационных технологий и наноэлектроники, протокол № 7 от «05» июня 2018 г.

Заведующий кафедрой



_____/ Салихов Р.Б./

Список документов и материалов (оглавление)

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - (Приложение №1)	6 (21)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине	7
4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	7
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	10
4.3. Рейтинг-план дисциплины (Приложение №2)	11(25)
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	18
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	18
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	19

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

При изучении дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» у обучающегося должны формироваться следующие компетенции:

ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

Для формирования указанных компетенций и освоения образовательной программы обучающийся должен показать следующие результаты обучения по дисциплине:

Результаты обучения		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать электронную эмиссию: основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия; электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки; способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров; примеры использования в приборах вакуумной электроники; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы	ОПК-7, ПК-1	Явления различных видов эмиссии электронов широко применяются в электронной технике. Электронное строение определяет химические свойства - современные концепции химии.

Умения	Уметь решать задачи по основным темам; управление электронными потоками: электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов; квазистатические и динамические способы управления; примеры использования в приборах вакуумной электроники; ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы;	ОПК-7, ПК-1	Туннельный эффект, сверхпроводимость, фотоэффект, открытие спина, ферромагнетизм, рентгеновское излучение и другие квантовые явления, лежат в основе многих высоких технологий и современных методов исследований всех естественных наук
Владения (навыки / опыт деятельности)	Владение способами, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминесценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев);	ОПК-7, ПК-1	
	Примеры использования в приборах вакуумной электроники; преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: методы ускорения плазменных потоков; диагностика параметров плазмы; применение плазмы в электронике	ОПК-7, ПК-1	

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Вакуумная и плазменная электроника» относится к *обязательной* части рабочего учебного плана.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре.

Целью данной дисциплины является выработка у студентов корректных представлений об особенностях эмиссии электронов, протекание тока в газах, вакууме и твердом теле.. В итоге у студента должно сложиться представление о формировании и транспортировке электронных лучей, взаимодействия их с твердыми телами и структурами, преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии.

Дисциплина «Вакуумная и плазменная электроника» заканчивает цикл дисциплин «Общая физика», в которых рассматриваются, в основном, классические представления физики, и начинается ознакомление с результатами физических экспериментов и теоретическими представлениями в области квантовой теории о свойствах микрообъектов и материи в целом.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, предварительно сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: молекулярная физика, электричество и магнетизм, оптика, физический практикум, математический анализ.

Чтобы приступить к изучению дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» студент должен знать основные понятия и законы перечисленных выше дисциплин, уметь находить производные функций и их пределы, иметь навыки нахождения неопределенных и

определенных интегралов функций. Студент должен иметь представления об основных средствах измерений в лабораторном физическом практикуме, уметь пользоваться измерительными приборами в рамках лабораторного физического практикума, иметь навыки расчетов погрешностей прямых и косвенных измерений.

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

ОПК-7 способностью учитывать современные тенденции развития электроники, измерительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности;

Этап (уровень) освоения компетенци и	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Не удовлетворитель но»	3 «Удовлет ворительн о»	4 «Хорош о»	5 «Отлично »
Первый этап (начальный уровень)	знать основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия; электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки; способы формирования электронных потоков различной интенсивности; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания,	не знает элементарных и современных проблем электроники	обладает элементарными и современными проблемами электроники	обладает знанием элементарных и современных проблем электроники за исключением некоторых	знает элементарных и современных проблем электроники

	неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы				
Второй этап (базовый уровень)	примеры использования в приборах вакуумной электроники; управление электронными потоками; электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов; квазистатические и динамические способы управления; примеры использования в приборах вакуумной электроники; преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии:	не умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники
Третий этап (повышенный уровень)	Владеть основными способами, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способами, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия методы генерации плазмы; моделями для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов;	не владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.

ПК-1 способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования;

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 «Не удовлетворительно»	3 «Удовлетворительно»	4 «Хорошо»	5 «Отлично»
Первый этап (начальный уровень)	знать основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия; электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские	не знает элементов и современных проблем электроники	обладает элементами и современными проблемами электроники	обладает знанием элементов и современных	знает элементы и современных проблем электроники

	электронные потоки; способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров; примеры использования в приборах вакуумной электроники; управление электронными потоками: электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов;			пробле м электро ники за исключ ением некотор ых	
Второй этап (базовый уровень)	Уметь управлять электронными потоками: электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов; квазистатические и динамические способы управления; примеры использования в приборах вакуумной электроники; преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия;	не умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники	умеет применять основы знаний для представления применения основ электроники
Третий этап (повышенный уровень)	Владеть квазистатическими и динамическими способами управления; примеры использования в приборах вакуумной электроники; преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами.	не владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.	владеет знаниями о взаимодействии внешних полей электронов, нет представления о плазме.

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(для экзамена:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
1-й этап Знания	знать основы электронной теории твердого тела, термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная, вторично-электронная, фотоэлектронная эмиссия; электронный поток, его формирование и транспортировка: интенсивные и неинтенсивные, релятивистские и нерелятивистские электронные потоки; способы формирования электронных потоков различной интенсивности (электронные пушки и прожекторы), транспортировка электронного потока и способы ограничения его поперечных размеров; примеры использования в приборах вакуумной электроники; ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях; основные методы генерации плазмы; модели для описания свойств плазмы; типы газовых разрядов; общие свойства плазмы: явления переноса, плазма в магнитном поле, колебания, неустойчивости и эмиссионные свойства плазмы, излучение плазмы	ОПК-7, ПК-1	Выполнение и защита отчета по лабораторным работам, тест, контрольная работа
2-й этап Умения	Уметь управлять электронными потоками: электрические и магнитные способы управления плотностью и скоростью электронов; квазистатические и динамические способы управления; примеры использования в приборах вакуумной электроники; преобразование энергии электронного потока в другие виды энергии: способы, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия;	ОПК-7, ПК-1	Выполнение и защита отчета по лабораторным работам Контрольная работа Тест

3-й этап	Владеть способами, основанные на взаимодействии с внешними электромагнитными полями, энергетический эффект взаимодействия; способы, основанные на взаимодействии с твердыми телами и структурами, эффекты взаимодействия (катодолюминесценция, катодоусиление, рентгеновское излучение, нагрев); примеры использования в приборах вакуумной электроники; ионизованный газ и плазма; элементарные процессы в плазме и на пограничных поверхностях	ОПК-7, ПК-1	Выполнение и защита отчета по лабораторным работам Контрольная работа, тест
----------	--	-------------	--

4.3 Рейтинг-план дисциплины

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

Экзаменационные билеты

Экзамен является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Структура экзаменационного билета:

Билет состоит из двух теоретических вопросов.

Примерные вопросы для экзамена:

1. Особенности газовой среды
2. Вакуум, степени вакуума, основной критерий степени.
3. Средняя длина свободного пробега частиц в газе.
4. Поверхностный потенциальный барьер.
5. Твердое тело, энергетическая диаграмма.
6. Энергия электронов в кристалле.
7. Плотность энергетических уровней в металле, заполнение уровней.
8. Электрические свойства твердых тел.
9. Термоэлектронная эмиссия.
10. Одномерная энергетическая диаграмма катодов.
11. Влияние внешнего ускоряющего поля на термоэмиссию, эффект Шоттки.

Образец экзаменационного билета:

Приведен в приложении 3.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

Критерии оценки (в баллах):

- **25-30 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

- **17-24 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки;

- **10-16 баллов** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;

- **1-10 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Задания для контрольных работ

Описание контрольной работы №1:

Контрольная состоит из вопросов и задачи. Время выполнения – 45 минут.

Пример варианта контрольной работы №1:

... Вариант 2.

1. Назовите основные свойства электрона.
2. На что расходуется энергия кванта света при фотоэмиссии.
3. Назовите основные параметры термокатодов.
4. Что представляет из себя фотоэлементы? Какие факторы ограничивают предел линейности вольт-амперной характеристик фотоэлемента?

Задача.

Эмиссия катода, работающего при 2100 К, через некоторое время снижается на 10%. До какой величины нужно повысить напряженность электрического поля у катода для достижения первоначального уровня эмиссии, если исходное поле составляет 10^4 В/м?

Описание контрольной работы №2:

Контрольная состоит из вопросов и задачи, время выполнения – 45 минут.

Пример варианта контрольной работы №2:

Вариант №3

1. Объясните связь энергии электрона с ускоряющим напряжением.
2. Запишите и проведите анализ уравнения Ричардсона-Дешмана.

3. Как связан квантовый выход фотокатода с его спектральной чувствительностью?
4. Какой металл - торий или вольфрам - способен дать большую плотность тока термоэмиссии?

Задача.

Фоточувствительная поверхность имеет работу выхода 5 эВ. Какова граничная частота фотоэффекта? Какова энергия покидающих катод электронов, если поверхность облучается светом с длиной волны 220 нм?

Критерии оценивания задач контрольных работ:

- 5 баллов выставляется студенту, если задача решена абсолютно верно;
 - 4 балла выставляется студенту, если при верном решении в общем виде допущена ошибка в числовых расчетах или при правильном ответе опущены некоторые промежуточные этапы решения или допущена непринципиальная ошибка в исходных уравнениях;
 - 3 балла выставляется студенту, если отсутствует одно из необходимых исходных уравнений или допущена принципиальная ошибка в исходных уравнениях, но присутствуют правильные рассуждения и действия, направленные на получение ответа(задача решена наполовину);
 - 1-2 балла выставляется студенту, если верно записана только часть необходимых исходных уравнений, при этом отсутствуют какие-либо математические преобразования, направленные на получение ответа или они ошибочны.
- 0 баллов ставится при отсутствии ответа или при полностью неверном ответе или когда ответ не соответствует условию задачи.

Задания для проведения тестов

Модуль 1. Вакуумная электроника

При движении электрона в магнитном поле:

1. траектория движения не изменяется
2. траектория движения изменяется
3. энергия электрона изменяется

Волновые свойства электрона проявляются, если его движение ограничено областью пространства, линейные размеры которого по отношению к длине волны Де-Бройля электрона

1. много меньше
2. соизмеримы
3. много больше

Для нахождения энергии уровня Ферми в металле необходимо знать:

1. концентрацию электронов в металле
2. работу выхода электронов из металла
3. среднюю энергию электронов в металле

С увеличением работы выхода электронов из металла плотность термоэлектронного тока:

1. линейно возрастает
2. увеличивается экспоненциально
3. уменьшается

Фотоэлектронная эмиссия - это испускание электронов под действием

1. нагревания
2. электрического поля

3. электромагнитного излучения

Критерии оценки (в баллах)

За каждый правильный ответ- 2 балл

Темы лабораторных работ

Лабораторная работа №1. «Фотоэлектронная эмиссия»

Лабораторная работа №2. «Автоэлектронная эмиссия»

Пример лабораторной работы:

Лабораторная работа 1 «Фотоэлектронная эмиссия»

1. Основные понятия

В 1887 г. Герц обнаружил, что при освещении ультрафиолетовыми лучами отрицательно заряженного металлического тела оно теряет отрицательный заряд. При освещении такими же лучами положительно заряженного тела потери заряда нет. Если тело не было заряжено, то при освещении оно заряжается положительно до потенциала в несколько вольт. После открытия Томсоном электрона в 1897 г. было доказано, что при освещении тела теряют электроны.

Явление вырывания электронов из вещества при освещении его светом получило название фотоэлектрического эффекта или фотоэффекта. Электроны, вырванные под действием света, называются фотоэлектронами.

Фотоэлектрическими свойствами обладают как металлы, так и диэлектрики, а также полупроводники и электролиты. Фотоэлектрический эффект вызывается не только ультрафиолетовыми лучами. Щелочные металлы: литий, натрий, калий, рубидий, цезий – весьма чувствительны к фотоэлектрическому действию и в видимой части спектра.

На рис. 1 показана экспериментальная установка для исследования фотоэффекта.

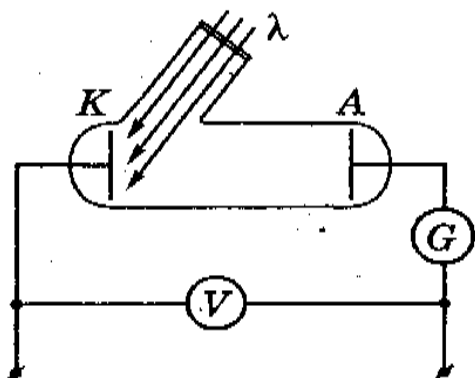


Рис. 1

Фотоэлектроны, вырванные при освещении из катода K, увлекаются электрическим полем к аноду A и замыкают цепь. По показаниям гальванометра G можно определить силу электрического тока в цепи, а с ней и количество фотоэлектронов, достигающих анода в единицу времени. На рис. 2 представлена зависимость силы фототока I от разности потенциалов U между катодом и анодом.

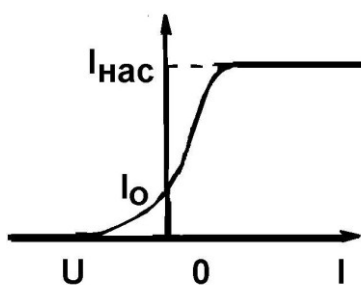


Рис.

2

При положительных значениях разности потенциалов электроны ускоряются от катода к аноду, при отрицательных – их ускорение происходит в обратном направлении. При нулевой разности потенциалов имеется поток электронов от катода к аноду. Это означает, что выбиваемые из катода электроны покидают поверхность катода с некоторой скоростью и благодаря этому достигают анода. Для их остановки и прекращения фототока необходимо приложить тормозящую разность потенциалов U_0 . При увеличении разности потенциалов фототок увеличивается и стремится к току насыщения $I_{\text{нас}}$. Насыщение достигается тогда, когда все электроны, вырывающиеся светом с поверхности катода в единицу времени, попадают на анод за то же время. Дальнейшее повышение разности потенциалов не меняет силу фототока: она определяется только количеством ежесекундно вырванных электронов. Существование тока насыщения было установлено А.Г. Столетовым. Им же было доказано на опыте, что ток насыщения $I_{\text{нас}}$ строго пропорционален мощности светового потока падающего света P , если только частота его остается постоянной (рис. 3).

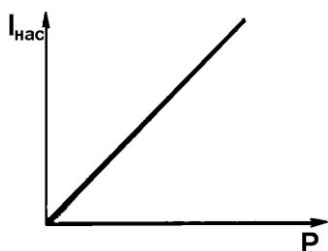


Рис. 3

Качественная картина механизма фотоэффекта с корпускулярной точки зрения такова: фотон, поглощаясь, отдает свою энергию электрону, и если эта энергия достаточна для того, чтобы освободить электрон от удерживающих его связей, то он выходит за пределы поверхности металла. Так как вероятность одновременного поглощения двух фотонов одним электроном ничтожно мала, то каждый освобожденный электрон заимствует свою энергию у одного фотона. Поэтому число освобожденных фотоэлектронов должно быть пропорционально числу поглощенных фотонов, т.е. пропорционально интенсивности света (закон Столетова). Тормозящая разность потенциалов U_0 от интенсивности света не зависит, зато зависит от частот падающего света ω . (рис. 4).

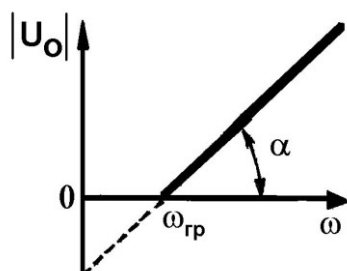


Рис. 4

Энергетический баланс при поглощении фотона может быть выражен следующим простым уравнением, которое обычно называется уравнением Эйнштейна:

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2}, \quad (1)$$

где $h\nu$ – энергия падающего фотона, A – работа выхода электрона из металла, $\frac{mv^2}{2}$ – кинетическая энергия электрона, покинувшего металл.

Из уравнения Эйнштейна вытекают следующие положения:

1. Электроны покидают поверхность металла с энергией от нуля до максимальной $h\nu - A$, которая не зависит от интенсивности светового потока падающего света и линейно зависит от частоты падающего света.

Интенсивность света оказывает влияние только на количество вырванных электронов, но совсем не влияет на их максимальную кинетическую энергию.

2. Существует граничная частота $\omega_{\text{гр}}$, ниже которой для данного металла фотоэффект отсутствует, независимо от интенсивности света и продолжительности облучения. (рис. 5).

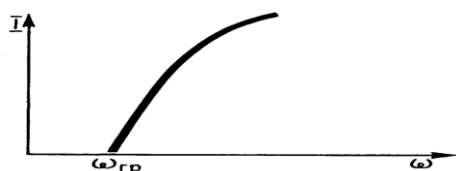


Рис. 5

Полученная электроном энергия $h\nu$ частично затрачивается на освобождение из металла. Минимальную энергию, необходимую для освобождения электрона из металла, т.е. для преодоления потенциального барьера, называют работой выхода A . Очевидно, что если $h\nu < A$ ($A = h\nu_{\text{гр}}$ при $h\nu_{\text{гр}} = 0$), которая ещё способна вызвать фотоэффект (красная граница фотоэффекта).

В таблице дается несколько примеров величины работы выхода.

Металл	Li	Na	K	Ca	W	Pd	Pt
Работа выхода, эВ	2,38	2,35	2,22	1,81	4,54	4,8	5,32

Зная работу выхода, можно вычислить длину волны красной границы фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}}$:

$$A = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} \quad (2)$$

Такие вычисления показывают, что для щелочных металлов $\lambda_{\text{кр}}$ лежит в видимой части спектра (для калия $\lambda_{\text{кр}} = 0,6 \text{ мкм}$), а для вольфрама, платины и других металлов с работой

выхода порядка 5-6 эВ – в ультрафиолете (для вольфрама $\lambda = 0,27$ мкм).

Значения λ для некоторых металлов приведены в таблице.

Металл	Cs	Na	Zn	Ag	Pt
λ , мкм	0,60	0,53	0,33	0,28	0,20

Из уравнений (1) и (2) можно определить максимальную кинетическую энергию электрона:

$$h\nu - A = E_{\text{кин}} \quad (3)$$

Электроны, покинувшие поверхность металла с максимальной скоростью $v_{\text{макс}}$, полностью теряют эту скорость при тормозящем потенциале U_0 :

$$E_{\text{кин}} = q U_0, \quad (4)$$

где q – заряд электрона.

Из (3) и (4) получим выражение для тормозящей разности потенциалов в зависимости от частоты падающего света:

$$U_0 = \frac{h\nu}{q} - \frac{A}{q} \quad (5)$$

Эта зависимость проиллюстрирована на рис. 4.

2. Порядок выполнения работы

1. Установите на монохроматоре входную щель – 1,0 мм, выходные щели на задний и боковые выходы – 3,0 мм.
2. Включите сетевую вилку в розетку.
3. Включите тумблер "сеть", при этом загорается красная лампа.
4. Включите источник света – лампу накаливания с помощью тумблера "ЛН".
5. Установите тумблер "регулятор тока" в положение "макс".
6. Наблюдая изображение источника света через зрительную трубу, сфокусируйте излучение на входной щели с помощью поворотного зеркала входной оптики. При этом рукоятка управления решеткой должна быть утоплена.

$\lambda = 400$ нм; $\lambda = 700$ нм.

7. Убедитесь в изменении цвета выходящего излучения при вращении ручки настройки монохроматора.

8. Определите минимальную и максимальную длину волны излучения, воспринимаемого визуально.
9. Выдвиньте рукоятку управления решеткой до упора, при этом поток излучения переключается на задний выход монохроматора.
10. Ручкой настройки монохроматора установите длину волны $\lambda = 600$ нм.
11. Поставьте лист белой бумаги к заднему выходу монохроматора и визуально убедитесь в наличии светового потока.
12. Установите фотоприемник ФЭУ на задний выход монохроматора.
13. Подключите ФЭУ к входу "ФП".
14. Подключите мультиметры к выходам измерительной системы.

Правый мультиметр (вольтметр), служащий для измерения напряжения на фотоприемнике, подключается к гнездам "U_{фп}". При этом красный провод-щуп подключается на мультиметре к разъему "V, $\square$, mA", а на панели к верхнему гнезду "U_{фп}". Черный провод-щуп подключается на мультиметре к разъему "COM", а на панели к нижнему гнезду "U_{фп}".

15. Левый мультиметр (амперметр), служащий для измерения тока фотоприемника, подключается к гнездам "I_{фп}" (выход усилителя фототока). При этом красный провод-щуп подключается на мультиметре к разъему "V, $\square$, mA", а на панели к нижнему гнезду "I_{фп}". Черный провод-щуп подключается на мультиметре к разъему "COM", а на панели к верхнему гнезду "I_{фп}".
16. На правом мультиметре установите переключатель пределов измерений на требуемую шкалу для функции DCV (измерение постоянного напряжения). Если измеряемое напряжение (шкала 20) заранее неизвестно, установите переключатель на наивысший предел, а затем уменьшайте до тех пор, пока не получите необходимую точность измерений. На дисплее мультиметра высвечиваются полярность и величина измеряемого напряжения.

Регулировка напряжения производится с помощью двух тумблеров U_{фп} на панели. Верхний тумблер U_{фп} позволяет регулировать напряжение в пределах $0 \leq U \leq 20$ (В) (грубо). Нижний тумблер U_{фп} позволяет регулировать напряжение в пределах $-2 \leq U \leq 0$ (В) (плавно).

17. Ток фотоприемника (шкала 200 м) I_ф пропорционален напряжению на выходе "I_{фп}" с коэффициентом преобразования усилителя k. Этот коэффициент установите равным $\square$ на шкале переключателя " $\square$ ". Тогда фототок

$$I_{фп} = k (U_{фп} - U_{темн}), \quad (6)$$

где U_{фп} – напряжение на выходе усилителя (гнезда "I_{фп}")

U_{темн} – напряжение на выходе усилителя при перекрытом световом потоке.

18. Для измерения U_{темн} закрыть с помощью экрана-заглушки свет от источника. Выставить напряжение U_{фп} = 0 (В). При этом напряжении снять показания U_{темн}. Например, для U_{темн} = 0,1 (В), I_ф (0) = k · U_{темн} = 0,1 ($\square$) · 0,1 (В) = 10⁻² (мкА) = 10⁻⁸ (А).

Критерии оценки (в баллах)

Приведен полностью правильно оформленный отчет, включающий правильные ответы на контрольные вопросы, правильно решенные задания и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	4 балла
Дан правильно оформленный отчет, включающий правильные ответы на контрольные вопросы, но в решении заданий имеются один или несколько недостатков	2 балл
Нет правильно оформленного отчета	0 баллов

Участие в конференциях, публикация статей

1. Публикация статей – 5 баллов

Критерии	Оценка (в баллах)	
Тип работы	Реферативная работа	0,1
	Работа носит исследовательский характер	0,3
	Работа является исследованием	0,6
Использование известных данных и научных фактов	Не использует никаких данных	0
	Автор использовал известные данные	0,4
	Использованы уникальные научные данные	0,6
Полнота цитируемой литературы, ссылка на ученых	Использован учебный материал	0,1
	Использованы специализированные издания	0,3
	Использованы интернет ресурсы	0,6
Актуальность работы	Изучение вопроса не является актуальным	0
	Представленная работа привлекает интерес своей актуальностью	0,4
	Работа содержит научный характер	0,6
Степень новизны полученных результатов	Работа не содержит ничего нового	0
	В работе доказан уже установленный факт	0,4
	В работе получены новые данные	0,6

2. Участие в конференции- 5 баллов

Творческий подход к отбору и структурированию материала	-	1 балл
Новизна и самостоятельность при постановке проблемы	-	1 балл
Выступление не является простым чтением с экрана	-	1 балл
В выступлении дополняются и раскрываются ключевые моменты, представленные на слайдах	-	1 балл
Во время выступления поддерживается зрительный контакт с аудиторией, речь отличается богатством интонаций	-	1 балл

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Сушков Вакуумная электроника: Физико-технические основы.— СПб. [и др.]: Лань, 2004 .— 462 с [В библ. БашГУ имеется 5 экз.]
2. Добрецов Л.Н., Гомоюнова М.В. Эмиссионная электроника. – М.:Наука, 1966. – 564с.
3. Протасова, Ю. С., Чувашев, С. Н. Основы плазменной электроники.— М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006 .— 632 с.

Дополнительная литература:

1. Светцов В.И. Вакуумная и плазменная электроника .— Иваново, 2003 .— 171с.
2. Гусев, В. Г., Гусев, Ю. М. Электроника .— М.: Высш. шк., 1982 .— 496 с.
3. Светцов, В. И., Рыбкин, В. В., Титов, В. А. и др. Физическая электроника и электронные приборы. Лабораторный практикум. Иваново, 2001.— 234 с

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. <http://window.edu.ru/resource/528/69528/files/vpe.pdf>
2. <https://studfiles.net/preview/1007673/>
3. https://www.twirpx.com/files/radioelectronics/components/electrovacuum/vacuum_plasma/

4	Электронно-библиотечная система «ЭБ БашГУ»	Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	https://elib.bashedu.ru/
5	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация из сети БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	http://www.biblioclub.ru/
6	Электронно-библиотечная система издательства «Лань»	Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий	Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет	Регистрация из сети БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет	http://e.lanbook.com/

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: аудитория 415 (физико-технического корпус учебное)	Лекции	1. Доска, учебная мебель, проектор 2. Windows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия- OLP NL Academic Edition. Бессрочная. 3. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.
учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа: аудитория 106 (физико-технического корпус учебное)	Лабораторная работа	1. Вторично-ионный масс-спектрометр «Полюс-4», Полевой электронный спектрометр. 2. Windows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия- OLP NL Academic Edition. Бессрочная. 3. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.
учебная аудитория для консультирования и промежуточной аттестации: аудитория 415 (физико-математический корпус учебное)	консультация	1. Доска, учебная мебель, проектор 2. Windows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия- OLP NL Academic Edition. Бессрочная. 3. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.
помещения для самостоятельной работы: Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж).	Самостоятельная работа	1. Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50. 2. indows 8 Russian; Windows Professional 8 Russian Upgrade. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензия- OLP NL Academic Edition. Бессрочная. 3. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Договор №114 от 12.11.2014 г.. Лицензия-OLP NL Academic Edition. Бессрочная.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Вакуумная и плазменная электроника» на 5 семестр
(наименование дисциплины)
очная
форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	4/144
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	73,2
лекций	36
практических/ семинарских	
лабораторных	36
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	1,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	36
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	34,8

Форма контроля:
экзамен 5 семестр

№ п.п.	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополнительная литература, рекомендуемая студентам (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе студентов (СРС)	Форма текущего контроля успеваемости
		Л К	ПР/СЕ М	ЛР	СР			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Модуль 1. Эмиссионная электроника. Движение электронов в электрических и магнитных полях. Электрон и его свойства. Электроны в металлах. Термоэлектронная эмиссия металлов. Вывод и анализ уравнения Ричардсона-Дэшмана. Простые металлические термокатоды. Влияние адсорбции атомов и молекул на работу выхода электронов из металла. Пленочные термокатоды. Эффект Шоттки. Эмиссия с поверхности полупроводников. Оксидный катод.	4		4	4	1 (§12), 2 (§117,118), 3 (§8,10), 5 (§1)	2 (§119,120), 4(5.292, 293, 296, 305).	
2	Фотоэлектронная эмиссия. Основные закономерности, сложные фотокатоды. Фотоэлектронные приборы. Вторичная электронная эмиссия и её применение в приборах. Фотоэлектронные и вторичные электронные умножители. Автоэлектронная эмиссия.	4		4	4	1 (§6,8,9), 3 (§11), 5 (§2,3)	1 (§3), 4(49,50, 62,63)	Тест
3	Электронная оптика - основные понятия, сходство и различия световой и электронной оптик. Электронные линзы. Движение электронов в магнитных полях. Магнитные линзы.	2		2	4	1 (§16,17), 3 (§13-15), 5 (§3-8).	4 (§67,72,75, 77)	
4	Электронно-оптические системы и принципы их построения. Особенности формирования интенсивных пучков. Ионно-оптические системы. Отклонение	4		4	4	1 (§16,17), 3 (§13-15), 5 (§3-8).	4 (§67,72,75, 77)	

	электронов в электрических и магнитных полях. Отклоняющие системы. Принципы построения и работы электронно-лучевых приборов.							
5	Движение электронов в режиме объемного заряда. Вывод уравнения "трех вторых". Вольт-амперная характеристика вакуумного диода. Физические основы работы вакуумных триодов, тетродов, пентодов. Особенности движения электронов в СВЧ-полях. Наведённые токи. Физические основы работы клистронов, ламп бегущей волны, магнетронов..	4		4	6	1 (26,27,29), 3(§17-20), 5(9-11).	6(§23), 4(§6.80,81,84,85)	Тест
8	Модуль 2. Элементы газоразрядной электроники. Газоразрядные приборы. Движение электронов в газах. Столкновения. Элементарные процессы при столкновениях электронов с атомами и молекулами. Несамостоятельный разряд и его применение в приборах. Пробой разрядного промежутка. Закон Пашина.	4		4	4	1 (§30,31), 3 (§21,22), 5 (§12, 15, 20)	4(6.122,124)	
9	Тлеющий разряд. Феноменологическое описание. Теория катодных областей разряда. Приборы тлеющего разряда. Физические основы дугового и искрового разряда. ВЧ и СВЧ разряды. Коронный разряд. Применение разрядов.	2		2	4	3(§21,23), 5(§21,27), 1(§33,34)	4 (6.105, 107, 111)	КР
10	Плазма - основные понятия. Параметры плазмы и их определение. Диффузионная теория плазмы. Особенности теории плазмы низкого и высокого давлений. Излучение плазмы и его применение в приборах. Газоразрядные индикаторные панели.	4		4	4,8	1(§37,39), 5(§25,30)	4(6.154, 156,160)	
	Всего часов:	36		36	70,8			

Примечание 1. Сокращение в таблице: КР – контрольная работа.

Примечание 3. Часы на самостоятельную работу включают время на подготовку к экзамену (контроль).

Рейтинг – план дисциплины

«Вакуумная и плазменная электроника»

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

Направление «Электроника и нанoeлектроника», профиль «Электронные приборы и устройства»курс 3, семестр 5

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Мини-мальный	Макси-мальный
Модуль 1				
Текущий контроль				
Тест 1	2	8	0	16
Выполнение и защита отчета по лабораторным работам	4	1	0	4
Рубежный контроль				
Контрольная работа №1	5	3	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 1			0	35
Модуль 2				
Текущий контроль				
Тест 2	2	8	0	20
Выполнение и защита отчета по лабораторным работам	4	1	0	4
Рубежный контроль				
Контрольная работа №2	5	3	0	15
ВСЕГО ПО МОДУЛЮ 2			0	35
Поощрительные баллы				
Участие в конференциях, публикация статей			0	10
Итого поощрительных баллов			0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
Посещение лекционных занятий			0	–6
Посещение практических занятий			0	–10
Итоговый контроль				
Экзамен	9 (вопрос билета)	2 вопроса	Макс. 18 б.	30
	3 (доп. вопрос)	2	Макс. 6 б.	
	6 (задача)	1	Макс. 6 б.	

Форма экзаменационного билета

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
КАФЕДРА ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И НАНОЭЛЕКТРОНИКИ

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

По дисциплина Вакуумная и плазменная электроника

1. Вакуум, степени вакуума, основной критерий степени.
2. Условие возникновения самостоятельного разряда.

Заведующий кафедрой



/ Салихов Р.Б./