

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
А.С. Батурин**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Электроника
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Программу составили:

А.С. Батурин, канд. физ.-мат. наук

Н.Е. Никитин, канд. физ.-мат. наук, доцент

Е.П. Шешин, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.А. Чуприк, канд. физ.-мат. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электроники 26.12.2023

Аннотация

Курс "Электроника" предназначен для студентов, обучающихся по образовательной программе "Электроника, фотоника и нанотехнологии".

Цель дисциплины:

изучение физических основ современной электроники.

Задачи дисциплины:

Знакомство с элементами конструкции электронных приборов и систем.

Изучение основных источников СВЧ-излучения.

Изучение основных приборов, используемых для получения, поддержания и изучения свойств материалов

По результатам освоения дисциплины студент должен:

Знать:

Теоретические основы описания взаимодействия электронов с веществом и физические механизмы их возникновения в электрическом и магнитном полях.

Уметь:

Рассчитывать распределение электрического и магнитного полей в вакуумных системах и влияние этих полей на движение электронных пучков.

Владеть:

Теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распределения электрического и магнитного полей в вакуумных системах, и влияние этих полей на движение электронных пучков.

Основное содержание дисциплины изложено в следующих разделах:

1. Представления о квантовых свойствах электрона.
2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
3. Задача об электроде, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.
4. Неразличимость элементарных частиц и принцип запрета Паули.
5. Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.
6. Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.
7. Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.
8. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.
9. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии.
10. Основные типы термоэлектронных катодов и их характеристики.
11. Фотоэлектронная эмиссия.
12. Автоэлектронная эмиссия.
13. Приборы, предназначенные для исследований поверхности твердых тел.
14. Поверхностная ионизация.
15. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ).

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение физических основ современной электроники.

Задачи дисциплины

- знакомство с элементами конструкции электронных приборов и систем;
- изучение основных источников СВЧ-излучения;
- изучение основных приборов, используемых для получения, поддержания и изучения свойств материалов.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы описания взаимодействия электронов с веществом и физические механизмы их возникновения в электрическом и магнитном полях.

уметь:

- рассчитывать распределение электрического и магнитного полей в вакуумных системах и влияние этих полей на движение электронных пучков.

владеть:

- теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распределения электрического и магнитного полей в вакуумных системах, и влияние этих полей на движение электронных пучков.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Представления о квантовых свойствах электрона.		4		6
2	Соотношение неопределенностей Гейзенберга.	4	4		6
3	Задача об электроны, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.	6	4		6
4	Неразличимость элементарных частиц и принцип запрета Паули.	6	4		6

5	Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.	6	4		6
6	Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.	4	4		6
7	Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.	4	6		9
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 3 (Осенний)

1. Представления о квантовых свойствах электрона.

Гипотеза Планка. Гипотеза де-Бройля (волновая гипотеза). Принцип соответствия Бора. Корпускулярно-волновой дуализм.

2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.

Свойства свободных электронов в вакууме. Волны де-Бройля. Уравнение Шредингера в декартовых координатах для одной частицы и для системы из двух различных частиц. Многочастичная и одночастичная волновые функции, их физический смысл. Стационарные состояния. Разрешенные уровни энергии. Волновая функция электрона, имеющего постоянную потенциальную энергию. Граничные условия для волновой функции.

3. Задача об электроном, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.

Надбарьерное отражение. Проникновение квантовой частицы под барьер. Туннельный эффект. Точное выражение для прозрачности прямоугольного потенциального барьера конечной ширины. Приближенное выражение для прозрачности барьера произвольной формы. Прозрачность треугольного барьера.

4. Неразличимость элементарных частиц и принцип запрета Паули.

Классические частицы; квантовые частицы (фермионы и бозоны). Статистика Ферми-Дирака. Функция распределения Ферми-Дирака, ее свойства, график функции. Связь статистики Ферми-Дирака с классической статистикой Больцмана. Уровень Ферми, его физический смысл. Нахождение уровня Ферми в модельных двухуровневых задачах; зависимость положения уровня Ферми от температуры.

5. Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.

Энергетические зоны. Квантовые числа: номер зоны и квазиимпульс. Период энергетической зоны в пространстве квазиимпульсов. Представление о зонах Бриллюэна. Количество электронных состояний в одной энергетической зоне. Эффективная масса в экстремумах энергетических зон. Запрещенная зона. Перекрывание зон.

6. Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.

Собственный, донорный и акцепторный полупроводники. Уровень Ферми и работа выхода электронов для металла, собственного полупроводника, донорного полупроводника, акцепторного полупроводника. Зависимость уровня Ферми от температуры для металлов и полупроводников.

7. Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.

Потенциальный барьер на границе раздела металл-вакуум. Уровень энергии вакуума. Контактная разность потенциалов (КРП) между двумя проводящими телами, находящимися в электрическом контакте; природа КРП. Методы измерения контактной разности потенциалов.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебные лаборатории, оснащенные специализированным экспериментальным оборудованием, предназначенным для практикума по электронике.

Учебные аудитории, оснащенные ученической доской, проектором, экраном.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Основы вакуумной техники: учеб. пособие для вузов / Е. П. Шешин ; М-во образования Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2001 .— 124 с.

Дополнительная литература

Литература выдается на кафедре:

1. Вакуумные технологии: учеб. пособие для вузов/ Е. П. Шешин .— Долгопрудный : Интеллект, 2009 .— 504 с.
2. Автоэлектронная эмиссия. Принципы и приборы: учеб. пособие для вузов/ Н. В. Егоров, Е. П. Шешин .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 704 с. - Библиогр. в конце глав. - 800 экз. - ISBN 978-5-91559-027-3 (в пер.).

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

не предусмотрены.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, прослушавший курс лекций и семинаров должен овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует:

- 1) посещения всех лекций и семинаров, предусмотренных учебным планом; ведение конспектов занятий; активное участие в обсуждении лекций и семинаров;
- 2) важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультацией к преподавателю на лекции или к докладчику на семинаре.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электроники
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 3 (осенний) - Экзамен

Разработчики:

А.С. Батурин, канд. физ.-мат. наук
Н.Е. Никитин, канд. физ.-мат. наук, доцент
Е.П. Шешин, д-р физ.-мат. наук, профессор
А.А. Чуприк, канд. физ.-мат. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Электроника» обучающийся должен:

знать:

- теоретические основы описания взаимодействия электронов с веществом и физические механизмы их возникновения в электрическом и магнитном полях.

уметь:

- рассчитывать распределение электрического и магнитного полей в вакуумных системах и влияние этих полей на движение электронных пучков.

владеть:

- теоретическими моделями, используемыми для расчётов и описания распределения электрического и магнитного полей в вакуумных системах, и влияние этих полей на движение электронных пучков.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

Вопросы к коллоквиумам:

1. Представления о квантовых свойствах электрона.
2. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
3. Задача об электроны, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.
4. Неразличимость элементарных частиц и принцип запрета Паули.
5. Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.
6. Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.
7. Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.
8. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.
9. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии.
10. Основные типы термоэлектронных катодов и их характеристики.
11. Фотоэлектронная эмиссия.
12. Автоэлектронная эмиссия.
13. Приборы, предназначенные для исследований поверхности твердых тел.
14. Поверхностная ионизация.
15. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ).

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену в 3 семестре

1. Представления о квантовых свойствах электрона.
2. Характеристики плоской монохроматической волны.
3. Соотношение неопределенностей Гейзенберга.
4. Задача об электроне, налетающем на прямоугольную потенциальную ступеньку.
5. Элементарные частицы и принцип запрета Паули.
6. Элементы зонной теории кристаллического твердого тела.
7. Классификация твердых тел металлы, диэлектрики, полупроводники.
8. Энергетическая диаграмма твердое тело-вакуум.
9. Термоэлектронная эмиссия в вакуум из металлов и полупроводников.
10. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии.
11. Основные типы термоэлектронных катодов и их характеристики.
12. Фотоэлектронная эмиссия.
13. Автоэлектронная эмиссия.
14. Приборы, предназначенные для исследований поверхности твердых тел.
15. Поверхностная ионизация.
16. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ).

Примеры билетов.

Пример №1:

1. Принципы термоэмиссионного преобразования энергии.
2. Основные типы термоэлектронных катодов и их характеристики.
3. Фотоэлектронная эмиссия.

Пример № 2:

1. Приборы, предназначенные для исследований поверхности твердых тел.
2. Поверхностная ионизация.
3. Вторичная электронная эмиссия (ВЭЭ).

Критерии оценивания

Оценка отлично (10 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (9 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично (8 баллов) - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо (7 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо (6 баллов) - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо (5 баллов) - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно (4 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно (3 балла) - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно (2 балла) - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно (1 балл) - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

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

В 3 семестре промежуточная аттестация проводится в ходе экзамена. На экзамене студенту выдается билет, содержащий три вопроса. На подготовку к ответу студенту выделяется не более 60 минут. Опрос студента по билету не должен превышать 60 минут.