КГЭУ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

АКТУАЛИЗИРОВАНО
решением НТС КГЭУ
протокол № 9 от 28.09.2026

КГЭУ
Подписан: ФГБОУ ВО «КГЭУ», КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Владелец: Леонтьев Александр Васильевич, Первый проректор – проректор по учебной работе,
Сертификат: 66B6F4BAB305B6B147CFCEF5019BE573
Действителен с 22.01.2026 по 25.01.2027

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по развитию и инновациям

_____И.Г. Ахметова
«01» 07 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Физика полупроводников»

1. Естественные науки

(код и наименование области наук)

1.3. Физические науки

(код и наименование группы научных специальностей)

1.3.11. Физика полупроводников

(код и наименование научной специальности)

Форма обучения
Очная

Казань,2022

Рабочая программа составлена на основании Федеральных государственных требований к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации, срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий аспирантов (адъюнктов), утвержденных приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 20.10.2021 № 951.

1. Цели и задачи изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение теоретических и практических навыков анализа и оценки состояния электротехнических комплексов и систем. При этом основное внимание уделяется методам научно обоснованного поиска оптимальных решений по повышению эффективности функционирования ЭЭС в различных схемно-режимных условиях.

Задачи дисциплины:

Основными задачами изучения дисциплины являются:

– овладение методами оптимизации развития электроэнергетических систем;

– овладение математическими методами оптимизации.

В результате изучения дисциплины «Физика полупроводников» аспирант должен:

Знать:

– Технологии систем управления ЭЭС с помощью программно-аппаратных комплексов;

– Основные методы разработки информационных и автоматизированных систем электротехнических комплексов;

– Основные методы контроля состояния электротехнического оборудования;

– Основные методы диагностики этого оборудования;

– Принципы и методы мониторинга электрооборудования электрических сетей.

Уметь:

– Анализировать решения по оптимальному развитию ЭЭС;

– Оценивать эффективность интеллектуальных элементов в ЭЭС;

– Оценивать эффективность необходимого программного обеспечения;

– Использовать аппарат математического моделирования при разработке информационных и автоматизированных систем электротехнических комплексов;

– Использовать методы контроля состояния электротехнического оборудования, основные методы диагностики этого оборудования. Принципы и методы мониторинга электрооборудования электрических сетей

Владеть:

– Методами расчета оптимизации развития ЭЭС;

– Методами проектирования электротехнических комплексов и систем ЭЭС;

– Практическими навыками в выборе характеристик и технологий

построения программно-аппаратных комплексов.

– Основными методами разработки информационных и автоматизированных систем электротехнических комплексов;

– Использованием результатов контроля, диагностики и мониторинга электрооборудования электротехнических комплексов и систем.

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Физика полупроводников» изучается на 4 году обучения в 8-ом семестре. Дисциплина относится к профессиональному циклу образовательного компонента программы аспирантуры.

3. Содержание дисциплины

3.1. Объем дисциплины и виды учебной работы (в часах и зачетных единицах)1 год аспирантуры; вид отчетности – кандидатский экзамен.

Общая трудоемкость дисциплины 3 зачетных единиц (108 часов): 36 ак. ч. – лекции; 74 ак. ч. – самостоятельная работа.

Виды учебной работы	**Объем часов /ЗЕТ**
Трудоемкость изучения дисциплины	108/3
Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)	34
в том числе:	
лекции	34
семинары	0
практические занятия	0
Самостоятельная работа аспиранта (всего)	74
в том числе:	
подготовка к практическим занятиям	0
подготовка реферата	36
подготовка эссе	0
изучение тем, вынесенных в самостоятельную работу	36

3.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Объем часов / зачетных единиц			
		лекции	семинары	практические занятия	самостоят. работа
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников. Основы зонной теории полупроводников	12			12
2	Основы технологии производства полупроводников и методы определения их параметров. Равновесная статистика носителей заряда и механизмы их рассеяния.	12			12
3	Рекомбинация носителей заряда. Оптические явления в полупроводниках. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки	12			12
4	Промежуточная аттестация, экзамен				36
	Итого	36	0	0	72

3.3. Лекционный курс

Раздел 1. Химическая связь и атомная структура полупроводников. Основы зонной теории полупроводников.

Химическая связь и атомная структура полупроводников. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дерваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементов AIV, AVI и соединений типов AШBV, AПBVI, AIVBVI. Основы зонной теории полупроводников. Основные приближения зонной теории. Энергетические зоны.

Раздел 2. Основы технологии производства полупроводников и методы определения их параметров. Равновесная статистика носителей заряда и механизмы их рассеяния.

Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы). Молекулярно-лучевая эпитаксия. Методы легирования полупроводников. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ.

Раздел 3. Рекомбинация носителей заряда. Оптические явления в

полупроводниках. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки

Механизмы рекомбинации. Излучательная и безизлучательная рекомбинация.Рекомбинация через уровни примесей и дефектов.Фотопроводимость.Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются.

3.4.Практические занятия – не предусмотрены

4. Оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по дисциплине

Текущий контроль используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью аспирантов.

Текущий контроль успеваемости аспирантов включает в себя: контрольный опрос, реферат.

5. Критерии оценки:

«Зачтено» - на заданные вопросы даны достаточно полные. Аргументированные ответы, материал изложен последовательно, логично. Продемонстрировано умеренное владение терминологией изучаемой дисциплины. Возможны незначительные ошибки или неточности, самостоятельно исправленные при ответе на дополнительные вопросы;

«Не зачтено» - при ответе аспирант обнаруживает незнание или непонимание наиболее существенной части вопросов, допускает существенные ошибки, которые не может исправить с помощью наводящих вопросов экзаменатора. Демонстрирует грубое нарушение логики изложения.

Тематика рефератов по дисциплине «Физика полупроводников».

Зачет проводится в форме защиты подготовленного реферата, результаты сдачи реферата выставляются в зачетную ведомость и учитываются при допуске аспиранта к экзамену (кандидатскому экзамену). При наличии оценки «зачтено» аспирант допускается к сдаче кандидатского экзамена по дисциплине Электротехнические комплексы и системы.

Примерный комплект тем рефератов и презентаций

1. Развитие энергетической электроники.
2. Основы физики лазеров и лазерных технологий.
3. Лазеры с высокой мощностью и сверхмалой длительностью импульсов.
4. Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом.
5. Лазеры на свободных электронах.
6. Рентгеновские лазеры.
7. Мощные химические лазеры.
8. Полупроводниковые лазеры.
9. Современное состояние солнечной фотоэнергетики.
10. Материалы солнечной фотоэнергетики.

11. Установки солнечной фотоэнергетики.

12. Проблемы глобальной солнечной энергосистемы.

13. Топливные батареи.

14. Светодиоды как источники излучения.

6. Методические рекомендации по оформлению рефератов

Реферат выполняется в течение семестра и защищается в конце 2 семестра перед сдачей экзамена.

Тема реферата избирается самим аспирантом из числа предложенных преподавателем или из рекомендованных ему научным руководителем.

Реферат является самостоятельным теоретическим обзором литературы по избранной теме. В нем должны быть изложены основные подходы и концепции рассматриваемой проблемы, высказана обоснованная точка зрения. В реферате необходимо показать научную актуальность темы и ее практическое значение.

К реферату предъявляются следующие требования:

1. Наличие титульного листа.
2. Наличие четкой структуры: содержание; введение; не менее 2-х частей; заключение.
3. Наличие списка используемых источников; ссылок на литературу.
4. Оптимальный объем реферата 20-30 страниц (Шрифт -14 пунктом TimesNewRoman, полуторный интервал; поля - левое 3 см, верхнее и нижнее - 2 см, правое - 1,5 см. Интервал - 1,5).

Проверка подготовленного реферата проводится научным руководителем аспиранта (соискателя), который осуществляет первичную экспертизу.

На проверяемом реферате должна быть виза аспиранта, научного руководителя и преподавателя, ведущего занятия по дисциплине «Физика полупроводников», который выставляет оценку по системе «зачтено» - «не зачтено» (оценка за реферат выставляется в зачетную ведомость и учитывается при допуске аспиранта к сдаче кандидатского экзамена).

Решение о направлении реферата на доработку принимается преподавателем, ведущим лекционные занятия по дисциплине.

При наличии положительной оценки аспирант (соискатель) допускается к сдаче экзамена по дисциплине электротехнические комплексы и системы.

Проверенный и защищенный реферат представляется в отдел аспирантуры в 1 экземпляре с подписью и указанием даты не позднее, чем за 1 неделю до окончания занятий по дисциплине.

Критерии оценки:

«Зачтено» - содержание реферата соответствует выбранной теме; тема изложена полно и обстоятельно, работа оформлена согласно требованиям;

«Не зачтено» - работа не соответствует необходимым критериям: содержание не соответствует теме; тема не раскрыта в необходимом объеме; не выдержана структура работы.

7. Промежуточная аттестация

Перечень вопросов к кандидатскому экзамену

1. Химическая связь и атомная структура полупроводников. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах.
2. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь.
3. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура.
4. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках.
5. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз.
6. Методы легирования полупроводников.
7. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.
8. Основные приближения зонной теории.
9. Законы дисперсии для важнейших полупроводников.
10. Изоэнергетические поверхности.
11. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях.
12. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного)резонанса.
13. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника.
14. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.
15. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний.
16. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ.
17. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях.
18. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке.
19. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.
20. Механизмы рекомбинации.
21. Излучательная и безызлучателъная рекомбинация.
22. Оптические явления в полупроводниках.

Критерии выставления оценки:

«Отлично» - аспирант показал прочные знания основных положений дисциплины, умение использовать справочную литературу и делать обоснованные выводы, продемонстрировал научную и методологическую эрудицию, умение применятьтеоретические знания для анализа конкретных задач. В ходе ответа аспирант демонстрирует необходимый уровень компетенций;

«Хорошо» - аспирант показал знания основных положений дисциплины, умение использовать справочную литературу и делать обоснованные выводы,

продемонстрировал научную и методологическую эрудицию, умение применять теоретические знания для анализа конкретных задач, но при этом допускающий не существенные неточности при изложении материала. В ходе ответа аспирант демонстрирует на достаточном уровне сформированность компетенций;

«Удовлетворительно» - аспирант показал существенные пробелы в знаниях основных положений дисциплины, не усвоил детали, допускал существенные ошибки при изложении материала, демонстрировал не до конца сформированные компетенции, умения систематизировать материал и делать выводы;

«Неудовлетворительно» - аспирант не усвоил основное содержание материала, не умеет систематизировать информацию, делать необходимые выводы, четко и грамотно отвечать на вопросы, демонстрирует низкий уровень овладения необходимыми компетенциями.

Образец экзаменационного билета

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИЭЭ
Кафедра Физика
Экзамен по дисциплине
« Физика полупроводников»

Билет № 1

1. Отличительные черты полупроводников. Примеры полупроводников.
2. Многозарядные примесные центры.

Утверждаю:
Зав. кафедрой, уч. степень, звание _____ _____

Дата

8. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков определены локальными нормативными актами, положением о текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации аспирантов ФГБОУ ВО «КГЭУ».

Зачет выставляется аспиранту, получившему оценку «зачтено» по результатам защиты самостоятельно подготовленного реферата и выполнившему все задания текущего контроля, предусмотренные рабочей программой дисциплины.

К прохождению промежуточной аттестации в форме **кандидатского экзамена** по «Физика полупроводников» допускаются аспиранты, получившие оценку «зачтено», выполнившие все задания текущего контроля, предусмотренные рабочей программой дисциплины (контрольный опрос).

Кандидатский экзамен может проводиться как в устной, так и письменной форме. Экзаменационная комиссия по приему кандидатского экзамена по дисциплине «Физика полупроводников» правомочна принимать кандидатский экзамен по дисциплине «Физика полупроводников». В заседании участвуют не менее 3 специалистов, имеющих ученую степень кандидата или доктора технических наук.

Кандидатский экзамен может проводиться в устной и письменной форме.

Перечень вопросов, выносимых на экзамен, доводится до сведения аспирантов во время занятий.

При проведении экзамена в аудитории, где проводится экзамен, одновременно должно находиться на более 6 аспирантов. На подготовку к ответу при устной форме экзамена аспиранту предоставляется 40-45 минут.

Преподавателю, принимающему экзамен, предоставляется право задавать аспирантам дополнительные вопросы. Комиссии, принимающей экзамен, предоставляется право задавать аспирантам дополнительные вопросы. Объявление результатов сдачи экзамена производится сразу после сдачи экзамена.

При проведении экзамена в письменной форме в аудитории, где проводится экзамен, могут находиться все обучающиеся по данной дисциплине аспиранты. На подготовку ответа при письменной форме экзамена аспиранту предоставляется не более 90 минут. Объявление результатов сдачи экзамена производится не позднее следующего дня после сдачи экзамена.

Итоговая оценка по кандидатскому экзамену выводится как средняя оценка членов комиссии.

Успеваемость аспирантов определяется оценками «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично».

9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

ФГБОУ ВО «КГЭУ» располагает материально-технической базой, соответствующей действующим санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение теоретической подготовки, предусмотренной учебным планом аспиранта, а также обеспечения поддержки самостоятельной работы аспирантов.

Материально-техническая база: компьютеры с выходом в Интернет; принтеры; сканеры; копиры.

№ п/п	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекции	Специальные помещения для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук), экран.
2	Самостоятельная работа обучающихся	Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
		Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, мультимедийный проектор, экран, программное обеспечение

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

10.1. Основная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие, др.)	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КГЭУ
1	Ансельм А.И.	Введение в теорию полупроводников	учебное пособие	Санкт-Петербург: Лань	2016	https://e.lanbook.com/book/71742	
2	Матухин В.Л., Ермаков В.Л.	Физика твердого тела	учебное пособие	Санкт-Петербург: Лань.	2010	https://e.lanbook.com/book/262	
3	Владимиров Г.Г.	Физика поверхности твердых тел	учебное пособие	Санкт-Петербург: Лань.	2016	https://e.lanbook.com/book/71707	
4	Епифанов Г.И.	Физика твердого тела	учебное пособие	Санкт-Петербург: Лань	2011	https://e.lanbook.com/book/2023	
5	Шалимова, К. В.	Физика полупроводников	учебник	Санкт-Петербург: Лань	2010	https://e.lanbook.com/book/648	

10.2. Дополнительная литература

№ п/п	Автор(ы)	Наименование	Вид издания (учебник, учебное пособие,	Место издания, издательство	Год издания	Адрес электронного ресурса	Кол-во экземпляров в библиотеке КЭУ
1	Матухин В.Л.	Физика твердого тела	сборник задач для расчетных заданий	Казань: КГЭУ	2004		
2	Матухин В.Л.	Введение в квантовую физику кристаллических твердых тел	учебное пособие	Казань: КФ МЭИ	1997		
3	Матухин В.Л.	Физика твердого тела	учебное пособие	Казань: КГЭУ	2003		
4	Викулин И.М., Стафеев В.И.	Физика полупроводниковых приборов	учебник	Москва: Радио и связь	1990		

5	Федотов Я.А.	Основы физики полупроводниковых приборов	учебник	Москва: Сов.радио	1970		
6	Берг А., Дин П.	Светодиоды	учебник	Москва: Мир	1979		
7	Брандон Д., Каплан У.	Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля	учебное пособие	Москва: Техносфера	2006		

10.3 Электронно-библиотечные системы

1. iprbookshop.ru.
2. knigafund.ru.
3. ibooks.ru.
4. znanium.com.
5. e.lanbook.com.
6. library.bsu.ru/menu-electronic.

10.4 Профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование профессиональных баз данных	Адрес	Режим доступа
1.	Российскаянациональнаябиблиотека	http://nlr.ru/	Свободный
2.	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	Свободный
3.	Президентская библиотека имени Бориса Николаевича Ельцина	В http://prlib.ru	Свободный
4.	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	Свободный
5.	Высшая аттестационная комиссия при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации	https://scienceid.net/president/	Свободный
6.	Президент России — молодым ученым - Science-ID	https://scienceid.net/president/	Свободный
7.	МБД Scopus	https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic#basic	Свободный с компьютеров университета
8.	МБД Web of Science	https://apps.webofknowledge.com/WOS_GeneralSearch_input.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&SID=D6cTknVCLV7j48sfzSo&preferencesSaved=	Свободный с компьютеров университета

9.	Портал РФФИ	https://www.rfbr.ru/rffi/ru/	Свободный

11.1. Перечень аудиторий и помещений для самостоятельной

Для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации предусмотрены следующие аудитории корпус А: А-114, А-201, А-204; корпус Г: Г-104, Г-219.

11.2. Перечень оборудования (лабораторное, демонстрационное, компьютерная техника, др.)

На кафедре имеется лабораторное оборудование на основе ПК, импульсный ЯМР/ЯКР спектрометр Tecmag Redstone, Система криостатирования OPTCRYO198M, вытяжной шкаф, шкаф с хим. реактивами, химическая посуда, средства защиты органов дыхания, средства защиты органов зрения, установка синтеза углеродных нанотрубок CVDomna, муфельная печь, комплект специализированной мебели, мультимедийные средства, пакеты прикладных программ.

Рабочая программа дисциплины «Методология подготовки и написания диссертации» образовательной программы «Физика полупроводников» разработана в соответствии с требованиями по научной специальности 1.3.11 Физика полупроводников.

Автор(ы) _____ В. Л. Матухин

(подпись, дата)

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Физика» от 09.03.2022, протокол № 10а.

Зав. кафедрой _____ Р. Р. Хуснутдинов

(подпись, дата)

Программа утверждена на заседании научно-технического совета от 13.04.2022, протокол № 3.