

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

**Физический факультет
Кафедра физики полупроводников, электроники и нанoeлектроники**

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

Избранные главы физики

Уровень высшего образования
бакалавриат

Направление подготовки: 11.03.04 – электроника и нанoeлектроника
Направленность (профиль): материалы микро- и наносистемной техники

Форма обучения: очная

Нижегород, 2023

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Избранные главы физики» относится к дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника», профиль «Материалы микро- и наносистемной техники», является обязательной для изучения на 3 году обучения в 6 семестре. Для усвоения данного курса необходимо освоить дисциплины в рамках образовательной программы бакалавра: общая физика, математический анализ, химия.

Целями освоения дисциплины:

- создание у студентов актуальных на настоящий момент знаний об атомной и электронной структуре твердого тела;
- формирование знаний о взаимосвязи зонной структуры твердого тела с экспериментально измеряемыми электрическими и оптическими свойствами материалов;
- изучение методов математического расчета электронной зонной структуры твердого тела;
- формирование знаний, умений и навыков, необходимых для расчетов электронной структуры твердого тела.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Процесс изучения настоящей дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способен применять фундаментальные представления о физических явлениях и процессах, лежащих в основе работы приборов, схем и устройств электроники, наноэлектроники, нано- и микросистемной техники для достижения требуемых функциональных характеристик.

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники.	Уметь применять знания о физических явлениях и процессах для выработки решения профессиональных задач. Знать фундаментальные понятия, законы и модели атомной физики. Знать о физических явлениях, лежащих в основе формирования химической связи в материалах, являющихся основой для приборов и устройств электроники и наноэлектроники. Владеть навыками построения модели протекания процессов в твердом теле	Вопросы по темам/разделам дисциплины.
	ПК-1.2. Умеет применять фундаментальные представления о физических	Уметь применять полученные знания для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники.	Комплект задач и заданий. Фонд тестовых

	явлениях и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники	<i>Знать</i> методы, необходимые для решения прикладных задач <i>Владеть</i> понятийным и математическим аппаратом для решения профессиональных прикладных задач.	заданий
--	---	--	---------

3. Структура и содержание дисциплины «Избранные главы физики»

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	32
- контроль самостоятельной работы	1
самостоятельная работа	43
Промежуточная аттестация	6 семестр – зачет

3.2 Содержание дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе			
		Контактная работа, часов			Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
1. Атомная физика	59	16	18	34	25
Основные параметры атомов.	7	2	2	4	3
Проблема теплового излучения. Фотоны.	7	2	2	4	3
Волновые свойства массивных частиц. Соотношения неопределенностей.	7	2	2	4	3
Планетарная модель атома. Постулаты Бора.	6	2	2	4	3
Волновая функция, операторы физических величин, уравнение Шредингера.	7	2	2	4	3
Атом водорода. Многоэлектронные атомы.	7	2	2	4	3
Периодическая таблица химических элементов Менделеева. Атомные термы и оптические спектры атомов.	9	2	4	6	4

Рентгеновские лучи. Атомы во внешних электрическом и магнитном полях. Молекулы и химическая связь.	7	2	2	4	3
2. Электронная структура и свойства твердых тел	38	12	12	24	14
Колебания одномерной атомной цепочки. Кристалл. Теория Друэ. Понятие о структуре тетраэдрических кристаллов.	6	2	2	4	3
Основные сведения из квантовой механики. Положения квантовой механики. Электронные состояния в атоме. Электронные состояния малых молекул. Простая ионно-ковалентная связь. Двухатомная молекула.	6	2	2	4	3
Энергетические зоны. Метод ЛКАО. Типы твердых тел.	7	2	2	4	2
Зонная структура простых тетраэдрических кристаллов. Понятие связывающих орбиталей. Конструирование орбиталей. Расчет энергетических зон.	7	2	2	4	2
Особенности спектра поглощения. Влияние типа химической связи на свойства полупроводников.	7	2	2	4	2
Применение явлений переноса для исследования зонной структуры. Осцилляции физических параметров в магнитном поле. Магнитооптические явления. Методы исследования зонной структуры. Циклотронный резонанс. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.	6	2	2	4	2
3. Физика атомного ядра и элементарных частиц	10	4	2	6	4
Систематические характеристики ядер. Динамические характеристики атомных ядер. Радиоактивное превращение атомных ядер. Возбуждение и превращения атомных ядер в процессах ядерных реакций.	6	2	2	4	2
Ядерные силы и ядерные модели. Основные виды элементарных частиц, их свойства, полуфеноменологическая систематизация.	4	2	0	2	2
Промежуточная аттестация - зачет					

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа. Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме зачета.

3.3 Содержание разделов дисциплины

Атомная физика

Основные параметры атомов.

Атомная гипотеза. Масса и заряд электрона. Масс-спектрометрия. Изотопы. Определение размеров атома.

Проблема теплового излучения. Фотоны.

Равновесное тепловое излучение. Спектральная плотность излучения, удельная интенсивность излучения, их связь. Абсолютно черное тело. Гипотеза и формула Планка. Внутренний и внешний фотоэффект. Фотонная теория и уравнение Эйнштейна.

Волновые свойства массивных частиц. Соотношения неопределенностей.

Гипотеза де Бройля. Статистическая интерпретация волн де Бройля. Интерференция электронов. Соотношения неопределенностей Гейзенберга. Корпускулярно-волновой дуализм.

Планетарная модель атома. Постулаты Бора.

Формула Резерфорда. Атомное ядро и его основные характеристики. Линейчатый спектр атома водорода. Обобщенная формула Бальмера. Первый и второй постулаты Бора. Энергетическое соотношение неопределенностей.

Волновая функция, операторы физических величин, уравнение Шредингера.

Волновая функция и ее общие свойства и физический смысл. Гамильтониан и уравнение Шредингера. Операторы координат, импульса, потенциальной кинетической энергии. Собственные функции и собственные значения. Стационарные состояния. Уравнение

Шредингера для стационарных состояний. Движение частиц в потенциальной яме. Прохождение частиц через потенциальный барьер. Туннельный эффект.

Атом водорода. Многоэлектронные атомы.

Уравнение Шредингера для стационарных состояний атома водорода. Волновые функции стационарных состояний атома водорода. Квантовые числа и их физический смысл. Пространственное распределение электронной плотности в стационарных состояниях атома водорода. Орбитальный магнитный момент электрона в атоме водорода. Собственный магнитный момент и спин. Квантование магнитного момента. Магнетон Бора. Полный механический и магнитный момент электрона. Спин-орбитальное взаимодействие и тонкая структура спектра водорода. Тождественность частиц. Бозоны и фермионы. Одноэлектронные стационарные состояния. Принцип Паули. Электронные слои и оболочки в многоэлектронном атоме.

Периодическая таблица химических элементов Менделеева. Атомные термы и оптические спектры атомов.

Периодический закон Менделеева. Электронные конфигурации основных состояний атомов химических элементов. Связь свойств химических элементов и электронных конфигураций их атомов. Сродство к электрону. Сложение моментов импульса для многоэлектронных атомов. Атомные термы и их обозначения. Правило Хунда. Спектр атома гелия. Тонкая структура оптических спектров. Мультиплеты.

Рентгеновские лучи. Атомы во внешних электрическом и магнитном полях. Молекулы и химическая связь.

Оптические и основные свойства. Исследования спектров рентгеновских лучей. Тормозное рентгеновское излучение. Коротковолновая граница непрерывного рентгеновского спектра. Характеристическое рентгеновское излучение и его основные серии. Закон Мозли. Тонкая структура характеристического рентгеновского излучения. Эффект Оже и рентгеновская флуоресценция. Эффект Зеемана и триплет Лоренца.

Электронная структура и свойства твердых тел

Колебания одномерной атомной цепочки. Кристалл. Теория Друдэ. Понятие о структуре тетраэдрических кристаллов.

Линейная модель кристалла. Зависимость частоты от волнового числа в одномерной модели кристалла. Колебания одномерной цепочки, состоящей из атомов двух сортов. Спектральная плотность решеточных колебаний линейной цепочки атомов.

Основные сведения из квантовой механики. Положения квантовой механики. Электронные состояния в атоме. Электронные состояния малых молекул. Простая ионно-ковалентная связь. Двухатомная молекула.

Элементы квантовой механики. Положения квантовой механики. Доля типа химической связи. Ионный тип связи. Ковалентный тип связи. Металлический тип связи.

Энергетические зоны. Метод ЛКАО. Типы твердых тел.

Понятие энергетической зоны. Методы расчета энергетической зонной структуры в твердом теле. Метод плоских волн. Метод Слэтера. Метод ЛКАО.

Зонная структура простых тетраэдрических кристаллов. Понятие связывающих орбиталей. Конструирование орбиталей. Расчет энергетических зон.

Зонные структуры Si и Ge. Понятия связывающих и антисвязывающих орбиталей.

Особенности спектра поглощения. Влияние типа химической связи на свойства полупроводников.

Явление поглощения электромагнитного излучения. Основные виды поглощения.

Применение явлений переноса для исследования зонной структуры. Осцилляции физических параметров в магнитном поле. Магнитооптические явления. Методы исследования зонной структуры. Циклотронный резонанс. Ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия.

Необходимость исследования и расчета зонной структуры полупроводников. Инжиниринг твердых растворов полупроводников. Интерпретация данных получаемых методами, используемыми для исследования зонной структуры полупроводников.

Физика атомного ядра и элементарных частиц

Систематические характеристики ядер. Динамические характеристики атомных ядер. Радиоактивное превращение атомных ядер. Возбуждение и превращения атомных ядер в процессах ядерных реакций.

Систематические характеристики ядер. Энергия связи ядер. Полуэмпирическая формула Бете-Вайцзеннера. Радиоактивное превращение атомных ядер. Сущность явления радиоактивности. Основной закон радиоактивного распада. Альфа-распад, его свойства. Тонкая структура α -спектров. Теоретические представления о механизме α -распада. β -распад. Типы β -превращений. Характер энергетических спектров β -излучения. Гамма-излучение при ядерных превращениях. Возникновение γ -лучей. Внутренняя конверсия электронов. Ядерная изометрия. Эффект Мессбауэра.

Ядерные силы и ядерные модели. Основные виды элементарных частиц, их свойства, полуфеноменологическая систематизация.

Основные характеристики ядерных сил. Мезонная теория ядерных сил, их обменный характер. Ядерные модели, целесообразность их создания. Капельная модель. Модель ядерных оболочек, магические числа. Обобщенные модели.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Занятия по дисциплине проводятся в формате лекций и семинаров, в ходе которых предполагается обсуждение информации, необходимой для решения задач в рассматриваемой области знаний. Самостоятельная работа студентов заключается в выполнении домашних заданий и теоретической подготовке к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Продemonстрированы основные умения.	Продemonстрированы все основные умения.	Продemonстрированы все основные умения.	Продemonстрированы все основные умения,	Продemonстрированы все основные умения.

	ть оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	ированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	решены все основные задачи с отдельными несущественным недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция

		сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

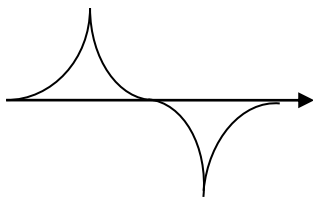
5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

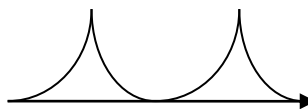
вопросы	Код формируемой компетенции
Абсолютно черное тело. Гипотеза и формула Планка.	ПК-1
Внутренний и внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна	ПК-1
Гипотеза де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм.	ПК-1
Атомное ядро и его основные характеристики. Постулаты Бора	ПК-1
Волновая функция и ее общие свойства и физический смысл. Гамильтониан уравнение Шредингера.	ПК-1
Квантовые числа и их физический смысл. Пространственное распределение электронной плотности в стационарных состояниях атома водорода.	ПК-1
Периодический закон Менделеева. Электронные конфигурации основных состояний атомов химических элементов. Атомные термы и их обозначения. Правило Хунда.	ПК-1
Оптические и основные свойства. Исследования спектров рентгеновских лучей. Тормозное рентгеновское излучение.	ПК-1
Модель колебания одномерной атомной цепочки.	ПК-1
Особенности структуры тетраэдрических кристаллов.	ПК-1
Основные сведения из квантовой механики. Положения квантовой механики.	ПК-1
Электронные состояния в атоме. Электронные состояния малых молекул.	ПК-1
Различия энергетического спектра электрона в изолированном атоме и кристалле.	ПК-1
Основные упрощения метода линейной комбинации атомных орбиталей	ПК-1
Понятие связывающих орбиталей.	ПК-1
Влияние типа химической связи на свойства полупроводников.	ПК-1
Осцилляции физических параметров в магнитном поле. Магнитооптические явления.	ПК-1
Методы исследования зонной структуры.	ПК-1
Систематические характеристики ядер.	ПК-1
Основные характеристики ядерных сил.	ПК-1

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции оформляются в формате вопроса с несколькими вариантами ответа:

- Для кристаллической структуры алмаза, формируемой атомами углерода, характерна ...-гибридизация.
а) sp^2 б) sp^3 в) sp г) sp^4 .
- К антисвязывающим орбиталям относится графическое представление, размещенное под ...



а)



б)

5.2.3. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции могут представлять собой задачи, примеры которых предполагается разбирать на семинарских занятиях:

а) Рассмотрите электрон в одномерной энергетической зоне, заданной в пределах зоны Бриллюэна $-\pi/a < k \leq \pi/a$ уравнением $E(k) = -V_2 \cos ka$. В начальный момент времени $t=0$ волновой вектор электрона $k=0$. Приложено электрическое поле E . Найдите энергию, скорость и координату электрона как функции времени.

б) Потенциальная энергия электрона в атоме водорода равна $-e^2/r$. Волновая функция состояния с минимальной энергией равна $\varphi(\mathbf{r}) = Ae^{-r/a_0}$, где a_0 – боровский радиус, A – вещественная постоянная. Вычислить ожидаемое значение потенциальной энергии.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

- 1) М.А. Фаддеев. Лекции по атомной физике. Учебник для вузов / М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов. – Москва: Физматлит, 2008. – 612с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=488545&idb=0>.
- 2) А.Н. Матвеев. Квантовая механика и строение атома. Москва: Высшая школа, 1965. -355с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=70136&idb=0>.
- 3) А.Ф. Щуров. Введение в физику керамики: Химическая связь, кристаллическая и электронная структура : учеб. пособие для вузов / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1994. - 166 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=81135&idb=0>.
- 4) И.М. Цидильковский. Зонная структура полупроводников / И. М. Цидильковский. - Москва: Наука, 1978. - 328 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=710311&idb=0>
- 5) К. Зеегер. Физика полупроводников: пер. с англ. Р. Бразиса [и др.] / под ред. Ю. К. Пожелы. - М.: Мир, 1977. - 615 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=85771&idb=0>
- 6) Ю.М. Широков. Юдин Н.П. Ядерная физика. Изд. 2-е, переработ. / Ю.М. Широков. Н.П. Юдин. – Москва: Наука, 1980. – 727с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=80023&idb=0>.

б) дополнительная литература:

- 1) К. Зеегер. Физика полупроводников: пер. с англ. Р. Бразиса [и др.] / под ред. Ю. К. Пожелы. - М.: Мир, 1977. - 615 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=85771&idb=0>

- 2) К.С. Краснов. Молекулы и химическая связь: [учеб. пособие для хим.-технол. специальностей вузов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 295 с. <http://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=82595&idb=0>
- 3) У. Харрисон. Электронная структура и свойства твердых тел: Физика химической связи: Пер. с англ. М.: Мир, 1983. - Т. 1,2. - 381 с. https://www.studmed.ru/harrison-u-elektronnaya-struktura-i-svoystva-tverdyh-tel-tom-1_2d58af6bcba.html.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) Открытый проект Materials Project <https://www.materialsproject.org/>.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютер, проектор, экран для проецирования и лазерная указка. Для решения задач на семинарах предусмотрено наличие доски и мела.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду. Кроме того, при необходимости выполнения некоторых математических расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями терминал-класса с установленным лицензионным программным обеспечением.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 – «Электроника и нанoeлектроника».

Автор:

к.ф.-мат. наук, доцент
кафедры физики полупроводников,
электроники и нанoeлектроники

Д.Е. Николичев

Рецензент:

заведующий кафедрой
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В.А. Бурдов

Заведующий кафедрой
физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель

Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

А.А. Перов