

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Беспалов Владимир Александрович
Должность: Ректор МИЭТ
Дата подписания: 01.09.2025 15:20:13
Уникальный программный ключ:
ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d7e

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский университет
Московский институт электронной техники»



УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

И.Г. Игнатова

И.Г. Игнатова

«23» декабря 2020 г.

М.П.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Квантовая механика»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Направленность (профиль) – «Автоматизация проектирования изделий наноэлектроники»

1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательных программ:

Компетенция ПК- 1 «Способен 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» сформулирована на основе следующих профессиональных стандартов:

40.040 «Инженер в области разработки цифровых библиотек стандартных ячеек и сложнофункциональных блоков»

Обобщенная трудовая функция: Разработка электрических схем и характеристика стандартных ячеек библиотеки

Трудовые функции: А/01.6 Разработка электрических схем стандартных ячеек библиотеки

Подкомпетенции, формируемые в дисциплине	Задачи профессиональной деятельности	Индикаторы достижения подкомпетенций
ПК-1.КМ «Способен строить физические модели современных приборов и устройств микроэлектроники и нанoeлектроники, используя физический и математический аппарат квантовой механики»	<ul style="list-style-type: none">- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;- математическое моделирование электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования;	<p>Знания:</p> <ul style="list-style-type: none">- принципа соответствия, свойств операторов физических величин, понятия о волновой функции, уравнения Шредингера, запутанных квантовых состояний; <p>Умения:</p> <ul style="list-style-type: none">- проводить аналитические и численные оценки параметров квантовых систем; <p>Опыт деятельности:</p> <ul style="list-style-type: none">- составления математических моделей квантовых систем.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» образовательной программы.

Для её освоения требуются знания, умения и опыт деятельности, приобретаемые студентами при изучении следующих дисциплин: Математический анализ; Физика. Электричество и магнетизм; Физика. Атомная физика и строение вещества; Теория вероятностей и математическая статистика, Дифференциальные уравнения.

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Курс	Семестр	Общая трудоём- кость (ЗЕ)	Общая трудоём- кость (часы)	Контактная работа			Самостоятельная работа (часы)	Промежуточная ат- тестация
				Лекции (часы)	Лабораторные работы(часы)	Практические занятия (часы)		
2	4	3	108	32	16	-	60	3аО

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

№ и наименование модуля	Контактная работа			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля
	Лекции (часы)	Лабораторные работы(часы)	Практические занятия (часы)		
1. Квантовая теория	32	-	-	30	Коллоквиум
2. Лабораторный практикум	-	16	-	30	Контроль выполнения инди- видуальных практических заданий к лабораторным ра- ботам

4.1. Лекционные занятия

№ модуля дисциплины	№ лекции	Объем занятий (часы)	Краткое содержание
1	1	2	Экспериментальные основы квантовой механики. Классическое и квантовое описание системы. Корпускулярно-волновой дуализм.
	2	2	Принцип неопределённости. Полный набор динамических переменных. Принцип дополнительности. Пространственно-временное и энергетически-импульсное описания квантово-механической системы.
	3	2	Постулаты квантовой механики.
	4	2	Волновая функция и её свойства. Принцип суперпозиции состояний. Корреляции и запутанные состояния квантовых систем. Квантовая телепортация.
	5	2	Понятие о теории представлений. Операторы в квантовой механике и

		их свойства.
6	2	Собственные функции и собственные значения эрмитовых операторов и их свойства. Случай дискретного и непрерывного спектра.
7	2	Среднее значение измеряемой величины и вероятность результатов её измерения.
8	2	Коммутативность операторов и одновременная измеримость физических величин.
9	2	Операторы координаты \hat{r} , импульса \hat{p} , момента импульса \hat{L} , энергии \hat{H} . Вычисление коммутаторов, содержащих операторы \hat{r} , \hat{p} , \hat{L} , \hat{H} .
10	2	Волновое уравнение. Интегралы движения в квантовой механике. Сохранение числа частиц и оператор тока вероятности.
11	2	Флуктуации физических величин и неравенства Гайзенберга. Операторы Гамильтона различных систем. Уравнение движения для квантовых операторов. Квантовая скобка Пуассона.
12	2	Стационарные состояния различных систем. Граничные условия для волнового уравнения на границе раздела двух систем. Решение волнового уравнения в случае свободной материальной точки. Решение волнового уравнения в случае бесконечно глубокой потенциальной ямы.
13	2	Квантовые системы с пониженной размерностью. Размерное квантование. Квантово-механический осциллятор. Операторы вторичного квантования. Энергетический спектр квантово-механического осциллятора.
14	2	Собственный механический момент (спин). Операторы \hat{s}_i и \hat{s}^2 и их свойства. Матрицы Паули. Спиновая переменная волновой функции. Уравнение Паули. Нормировка функций. Принцип тождественности. Спин и статистика. Нелокальное взаимодействие: эффект Ааронова-Бома и трансмутация статистики. Анионы.
15	2	Оператор перестановки и его свойства. Симметричное и антисимметричное состояния. <i>Коллоквиум.</i>
16	2	Стационарная теория возмущений в случае невырожденного дискретного энергетического спектра: нулевое и первое приближения. Критерий применимости теории возмущений.

4.2. Практические занятия

Не предусмотрены

4.3. Лабораторные работы

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы		Объем занятий (часы)	Наименование работы
	№	№		
2	1	4	4	Построение 2D и 3D графических объектов в пакете MATLAB, как графическое представление результатов решения некоторых математических и физических задач.
	2	4	4	Свободное движение электрона. Волновой пакет.
	3	4	4	Туннелирование волнового пакета через прямоугольный барьер.
	4	4	4	Движение электрона в потенциальной яме.

4.4. Самостоятельная работа студентов

№ модуля дисциплины	№ лабораторной работы		Объем занятий (часы)	Вид СРС
	№	№		
1	5	4	5	Работа с конспектом лекций.
	4	4	4	Чтение и разбор рекомендованной литературы.
	5	4	5	Подготовка к коллоквиуму.
	8	4	8	Разбор практических задач из методического пособия.
	8	4	8	Работа студентов с электронными ресурсами. Просмотр студентами видео-лекции. Проработка тем, рассмотренных в видео-лекции, написание ответов на теоретические вопросы и решение задач.
2	26	4	26	Индивидуальные практические задания к лабораторным работам: написание программного кода для моделирования в среде Matlab к лабораторным работам 1-4, вывод формул из описаний лабораторных работ, решение практических задач на тематику лабораторных работ.
	2	4	2	Получение результатов моделирования в виде массивов численных данных, таблиц, графиков и т.п.
	2	4	2	Подготовка отчёта по лабораторным работам.

4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Не предусмотрены

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Учебно-методическое обеспечение для самостоятельной работы студентов в составе УМК дисциплины (ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>):

Модуль 1

1. Теоретический материал по тематике лекций.
2. Список вопросов к коллоквиуму.
3. Список учебной литературы.
4. Дополнительные материалы к дисциплине: видеоролики, презентации, статьи, нормативные документы

Модуль 2 «Лабораторный практикум»

1. Описания лабораторных работ
2. Список контрольных вопросов

6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Литература:

1. Журавлев М.Н. Квантовая механика: Учеб. пособие / М. Н. Журавлев, А. Г. Фокин; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М.: МИЭТ, 2016. - 120 с.
2. Горбачевич А.А. Квантовая механика для инженеров (краткий курс): Учеб. пособие / А. А. Горбачевич; Министерство образования и науки РФ, Национальный исследовательский университет "МИЭТ". - М. : МИЭТ, 2013. - 100 с. – Имеется электронная версия издания.
3. Галицкий В.М. Задачи по квантовой механике : Учеб. пособие для вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган. - М.: Наука, 1981. - 648 с.
4. Сборник задач по теоретической физике : Учеб. пособие для вузов / Л.Г. Гречко [и др.]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 1984. - 319 с.
5. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : Учеб. пособие для вузов: В 10-ти т. Т. 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория / Под ред. Л.П. Питаевского / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. - 5-е стер. изд. - М. : Физматлит, 2004. - 800 с.

Периодические издания:

1. ФИЗИКА И ТЕХНИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ = SEMICONDUCTORS / РАН, Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе; Гл. ред. Р.А. Сурис. - СПб. : Наука, 1967 - . - URL: <http://journals.ioffe.ru/ftp/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный.
2. УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК : Научный журнал / Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН, Редакция журнала УФН. - М. : РАН, 1918 - . - URL:<http://ufn.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
3. ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ : Научный журнал / РАН, Ин-т физических проблем им. П.Л. Капицы. - М. : РАН, Наука, 1873 - . - URL:<http://www.jetp.ac.ru/cgi-bin/r/index> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный

4. ПИСЬМА В ЖУРНАЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ = JETP Letters / Российская академия наук, Институт физических проблем им. П. Л. Капицы РАН. - М. : ИКЦ Академкнига, 1965 - . – URL: <http://www.jetpletters.ac.ru/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный
5. JOURNAL OF APPLIED PHYSICS / American Institute of Physics. - USA : AIP, [б.г.] – URL: <http://scitation.aip.org/content/aip/journal/jap> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: по подписке МИЭТ.

7. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ, ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

1. NSM Archive. Characteristics and Properties = Новые полупроводниковые материалы: Характеристики и свойства: Электронный архив / webmaster Алексей Толмачев // ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН : [сайт]. – Москва, 1998-2001. - URL: <http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/rintroduction.html> (дата обращения: 27.11.2020).
2. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. – URL: www.scopus.com/ (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
3. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 27.11.2020).
4. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
5. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 27.11.2020)
6. WebCSD // The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC) : [сайт]. - URL: <https://www.ccdc.cam.ac.uk/structures/> (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
7. APS Physics: [сайт] / American Physical Society Sites. - URL: <https://www.aps.org/> (дата обращения: 20.10.2020). – Режим доступа: свободный.

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Освоение образовательной программы обеспечивается ресурсами электронной информационно-образовательной среды ОРИОКС <http://orioks.miet.ru>.

В ходе реализации обучения используются технологии смешанного обучения.

Применяется модель смешанного обучения «расширенная виртуальная модель», которая предполагает обязательное присутствие студентов на очных учебных занятиях (лекциях) с последующим самостоятельным выполнением индивидуального задания (индивидуальные практические задания к лабораторным работам).

Для взаимодействия студентов с преподавателем используются сервисы обратной связи: ОРИОКС «Домашние задания», электронная почта преподавателя, zoom-консультации.

В процессе обучения при проведении занятий и для самостоятельной работы используются внутренние электронные ресурсы в системе ОРИОКС.

Также используются **внешние электронные ресурсы**:

Лекция 1 Экспериментальные основы квантовой механики. Классическое и квантовое описание системы. Корпускулярно-волновой дуализм.

<https://www.youtube.com/watch?v=ARRP8qrqe1s&index=1&list=PLE61A955CA34AD967>

Лекция 2 Принцип неопределённости. Полный набор динамических переменных. Принцип дополнительности. Пространственно-временное и энергетически-импульсное описание квантово-механической системы.

Часть 1

https://www.youtube.com/watch?feature=player_detailpage&list=PLqPbWVW7uS5O2y2DaVeq2E2CT_CKszQf8&v=IG-FXdmbhFU#t=2810

Часть 2

https://www.youtube.com/watch?v=cSsrarRVgkI&list=PLqPbWVW7uS5O2y2DaVeq2E2CT_CKszQf8&index=3

Лекция 3 Постулаты квантовой механики.

https://youtu.be/d61qa0Fg6Fg?list=PLqPbWVW7uS5O2y2DaVeq2E2CT_CKszQf8&t=338

Лекция 10 Волновое уравнение. Интегралы движения в квантовой механике. Сохранение числа частиц и оператор тока вероятности.

https://www.youtube.com/watch?v=3CokW-9LaiA&list=PLqPbWVW7uS5O2y2DaVeq2E2CT_CKszQf8&index=5

Лекция 11 Флуктуации физических величин и неравенства Гайзенберга. Операторы Гамильтона различных систем. Уравнение движения для квантовых операторов. Квантовая скобка Пуассона.

https://www.youtube.com/watch?v=ARRP8qrqe1s&list=PLE61A955CA34AD967&feature=player_detailpage#t=2157

Лекция 12 Стационарные состояния различных систем. Граничные условия для волнового уравнения на границе раздела двух систем. Решение волнового уравнения в случае свободной материальной точки. Решение волнового уравнения в случае бесконечно глубокой потенциальной ямы.

https://www.youtube.com/watch?list=PLE61A955CA34AD967&feature=player_detailpage&v=o5N_cOMDBwA#t=1707

Лекция 13 Квантовые системы с пониженной размерностью. Размерное квантование. Квантово-механический осциллятор. Операторы вторичного квантования. Энергетический спектр квантово-механического осциллятора.

<https://youtu.be/Peuh41Te2jA?list=PLE61A955CA34AD967&t=664>

Лекция 16 Стационарная теория возмущений в случае невырожденного дискретного энергетического спектра: нулевое и первое приближения. Критерий применимости теории возмущений.

<https://youtu.be/Ks3B9QTXD7g?list=PLE61A955CA34AD967&t=2063>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы	Перечень программного обеспечения
Учебная аудитория	Мультимедийное оборудование	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC
Компьютерный класс 4212А	ПЭВМ I5 (Intel Core i5 7400, монитор 21,5" АОС i2269Vw) 31 шт.	ПО для ЭВМ MATLAB
Помещение для самостоятельной работы обучающихся	Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду МИЭТ	Операционная система Microsoft Windows от 7 версии и выше, Microsoft Office Professional Plus или Open Office, браузер (Firefox, Google Chrome); Acrobat reader DC

10. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕРКИ СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИЙ/ПОДКОМПЕТЕНЦИЙ

ФОС по подкомпетенции ПК-1.КМ «Способен строить физические модели современных приборов и устройств микроэлектроники и наноэлектроники, используя физический и математический аппарат квантовой механики».

Фонд оценочных средств представлен отдельным документом и размещен в составе УМК дисциплины электронной информационной образовательной среды ОРИОКС// URL: <http://orioks.miet.ru/>.

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

11.1. Особенности организации процесса обучения

Посещение лекций и выполнение лабораторных работ обязательно.

Дополнительной формой аудиторной работы являются консультации. Консультации проводятся лектором по расписанию, заранее согласованному со студентами.

Цель лекций – обучение базовым знаниям и умениям с частичным охватом материала повышенного уровня. Освоение дисциплины на повышенном уровне в значительной степени осуществляется студентом самостоятельно. Лектор предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему лекции, которая читалась на неделе, предшествующей консультации. На консультациях обсужда-

ются задачи повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

Важная часть изучения дисциплины «Квантовая механика» – работа с электронными ресурсами. Они представляют собой комплекс учебно-методических материалов, состоящий из видео-лекций со сторонних ресурсов и электронных версий конспектов лекций с разобранными задачами. Перед посещением лекции студенты должны просмотреть видео-лекцию, на которой рассматриваются темы соответствующей лекции, а также ознакомиться с прилагаемым к каждой лекции кратким конспектом в электронном виде. Эти материалы дополняют друг друга. Студенты должны поработать имеющийся материал, написать ответы на прилагающиеся к каждой лекции вопросы и решить предлагаемые задачи. Перед началом соответствующей лекции студенты сообщают преподавателю проблемные вопросы, возникшие при работе с электронными ресурсами. Во время лекции преподаватель объясняет их более подробно. В процессе выполнения электронного задания студенты должны продемонстрировать умение работать с современными электронными источниками информации, в частности, с медиа-источниками, умение анализировать полученную информацию, решать задачи, которые возникают по ходу рассмотрения теоретического материала. Преподаватель, встречаясь со студентами на консультациях, отвечает на сформулированные студентами в процессе ознакомления с медиа-материалами вопросы и объясняет решение задач. Результаты выполнения студентами самостоятельной работы с электронными ресурсами оцениваются на коллоквиуме.

Лабораторные работы выполняются студентами самостоятельно вне компьютерного класса. В рамках лабораторных работ студенты моделируют квантовые системы, и оформляют отчеты к лабораторным работам, включающие краткие теоретические конспекты лабораторной работы. Результатами моделирования являются массивы чисел, графики. Моделирование происходит в программной среде MATLAB, доступ к которой студенты могут получить посредством подключения к удалённому рабочему столу с логином и паролем, закреплённым за каждым студентом. В процессе выполнения лабораторных работ студенты консультируются с преподавателем через сервисы дистанционного общения ZOOM, Skype и т.д. Защита лабораторных работ также происходит дистанционно, а также на консультациях.

Обязательным условием допуска к дифференцированному зачёту является сдача всех лабораторных работ и коллоквиума.

11.2. Система контроля и оценивания

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оцениваются: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (в сумме 76 балла), и сдача дифференцированного зачёта (24 баллов). Структура и сроки сдачи контрольных мероприятий доступны в журнале успеваемости в ОРИОКС, <http://orioks.miet.ru/>

РАЗРАБОТЧИКИ:

Профессор каф. КФН, д. ф.-м. н. _____ / А. Г. Фокин /

Ст. преподаватель _____ / А. Е. Широков /

Рабочая программа дисциплины «Квантовая механика» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Автоматизация проектирования изделий нанoeлектроники» разработана на кафедре квантовой физики и нанoeлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН  /А. А. Горбачевич/

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой ПКИМС

Заведующий кафедрой ПКИМС  / С. В. Гаврилов/

Рабочая программа согласована с Центром подготовки к аккредитации и независимой оценки качества

Начальник АНОК  / И.М. Никулина /

Рабочая программа согласована с библиотекой МИЭТ

/ Директор библиотеки  / Т.П. Филиппова /