

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Беспалов Владимир Александрович

Должность: Ректор МИЭТ

Дата подписания: 01.09.2023 15:11:44

Уникальный программный ключ:

ef5a4fe6ed0ffdf3f1a49d6ad1b49464dc1bf7354f736d70c6b0bea882b00602

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

2020 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ «Квантовая статистика»

Направление подготовки – 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»

Направленность (профиль) – «Квантовые приборы и нанoeлектроника»

2020 г.

## 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», А/02.6 «Определение основных статических и динамических характеристик стандартных ячеек библиотеки»

| Подкомпетенции, формируемые в дисциплине                                                                                                     | Задачи профессиональной деятельности                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Индикаторы достижения подкомпетенций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-1.КС «Способен использовать методы квантовой статистики для описания процессов, протекающих в функциональных устройствах нанoeлектроники» | <ul style="list-style-type: none"> <li>- анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования;</li> <li>- участие в планировании и проведении экспериментов по заданной методике, обработка результатов с применением современных информационных технологий и технических средств;</li> </ul> | <p><b>Знания:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– принципа соответствия, свойств операторов физических величин, понятия о волновой функции, уравнения Шредингера;</li> <li>– теории возмущений в квантовой механике;</li> <li>– постулатов классической и квантовой статистики;</li> <li>– статистического описания ферми и бозе систем;</li> </ul> <p><b>Умения:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– решать задачи нерелятивистской квантовой механики;</li> <li>– находить средние значения физических величин;</li> <li>– пользоваться аппаратом теории возмущений для приближённого решения квантовомеханических задач;</li> </ul> <p><b>Опыт деятельности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– опыт использования математического аппарата статистической физики при решении практических задач;</li> </ul> |

## 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, Квантовая механика, Статистическая физика.

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

| Курс | Семестр | Общая трудоёмкость (ЗЕ) | Общая трудоёмкость (часы) | Контактная работа |                            |                             | Самостоятельная работа (часы) | Промежуточная аттестация |
|------|---------|-------------------------|---------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|      |         |                         |                           | Лекции (часы)     | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) |                               |                          |
| 3    | 6       | 3                       | 108                       | 32                | -                          | 16                          | 60                            | ЗаО                      |

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| № и наименование модуля                  | Контактная работа |                            |                             | Самостоятельная работа | Формы текущего контроля              |
|------------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------------|
|                                          | Лекции (часы)     | Лабораторные работы (часы) | Практические занятия (часы) |                        |                                      |
| 1. Спин. Квантовый идеальный газ.        | 16                | -                          | 8                           | 30                     | Контроль решённых практических задач |
|                                          |                   |                            |                             |                        | Контрольная работа №1                |
| 2. Флуктуации термодинамических величин. | 16                | -                          | 8                           | 30                     | Контроль решённых практических задач |
|                                          |                   |                            |                             |                        | Контрольная работа №2                |

### 4.1. Лекционные занятия

| № модуля дисциплины | № лекции | Объем занятий (часы) | Краткое содержание                                        |
|---------------------|----------|----------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1                   | 1-2      | 4                    | Спин. Тонкая структура атомных уровней (мультиплетность). |

|   |       |   |                                                                                                                                                                    |
|---|-------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | 3     | 2 | Оператор перестановки и его свойства.                                                                                                                              |
|   | 4     | 2 | Симметричное и антисимметричное состояния.                                                                                                                         |
|   | 5     | 2 | Уравнение Паули.                                                                                                                                                   |
|   | 6     | 2 | Обменное взаимодействие.                                                                                                                                           |
|   | 7     | 2 | Основное состояние атома гелия.                                                                                                                                    |
|   | 8     | 2 | Статистическое описание системы невзаимодействующих частиц, уравнение состояния идеального электронного газа при $T = 0$ , критерий идеальности электронного газа. |
| 2 | 9-10  | 4 | Каноническое распределение Гиббса, флуктуации аддитивных величин.                                                                                                  |
|   | 11    | 2 | Энтропия и статистический вес, температура (статистическое определение), условие равновесия систем, находящихся в тепловом контакте.                               |
|   | 12-13 | 4 | Статистическая сумма и её свойства, квазиклассическое приближение в статистической физике.                                                                         |
|   | 14    | 2 | Большое каноническое распределение, термодинамический потенциал Гиббса.                                                                                            |
|   | 15    | 2 | Вычисление флуктуации физических величин по квазиротермодинамической теории.                                                                                       |
|   | 16    | 2 | Флуктуационные явления.                                                                                                                                            |

#### 4.2. Практические занятия

| № модуля дисциплины | № практического занятия | Объем занятий (часы) | Наименование занятия                                                                                                       |
|---------------------|-------------------------|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                   | 1-2                     | 4                    | Числовые оценки параметров $n$ , $k_F$ , $p_F$ , $v_F$ , $\epsilon_F$ и $T_F$ , релятивистский вырожденный газ.            |
|                     | 3-4                     | 4                    | Вырожденный бозе-газ, расчёт основных термодинамических величин фотонного газа.                                            |
| 2                   | 5-6                     | 4                    | Вычисление флуктуации и корреляций флуктуации физических величин методом Гиббса и методом частичных функций распределения. |
|                     | 7-8                     | 4                    | Семиинварианты (кумулянты).                                                                                                |

#### 4.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

#### 4.4. Самостоятельная работа студентов

| № модуля<br>дисциплины | Объем занятий<br>(часы) | Вид СРС                                                     |
|------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1                      | 10                      | Работа с методическим пособием. Решение тематических задач. |
|                        | 6                       | Чтение и разбор рекомендованной литературы.                 |
|                        | 14                      | Решение практических задач.                                 |
| 2                      | 10                      | Работа с методическим пособием. Решение тематических задач. |
|                        | 6                       | Чтение и разбор рекомендованной литературы.                 |
|                        | 14                      | Решение практических задач.                                 |

#### 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 (Методическое пособие по дисциплине «Квантовая статистика»)
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

#### Модуль 2

1. Теоретический материал по тематике лекций (Методическое пособие по дисциплине «Квантовая статистика»).
2. Методические указания студентам.
3. Список учебной литературы.

### 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

#### Литература:

1. Ландау Л.Д. Теоретическая физика : Учеб. пособие для вузов: В 10 т. Т. II: Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; Под ред. Л.П. Питаевского. - 9-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2014. - 508с.
2. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учеб. пособие : В 10 т. Т. I: Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц; Под ред. Л.П. Питаевского. - 7-е изд., стер. - М.: Физматлит, 2015. - 224 с.
3. Ландау Л.Д. Теоретическая физика: Учеб. пособие для вузов: В 10 т. Т. IX, Ч. 2 : Статистическая физика : Теория конденсированного состояния / Л.Д. Ландау, Е.М.

Лифшиц, Л.П. Питаевский; Под ред. Л.П. Питаевского. - 5-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2015. - 440 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. SCOPUS : Библиографическая и реферативная база данных научной периодики : сайт. - URL: [www.scopus.com/](http://www.scopus.com/) (дата обращения: 27.11.2020). - Режим доступа: для авториз. пользователей МИЭТ
2. Web of Science [v.5.35]: сайт. - URL: <http://apps.webofknowledge.com> (дата обращения: 27.11.2020).
3. ФИПС : Информационно-поисковая система: сайт. - Москва, 2009 - . - URL: <https://www1.fips.ru/elektronnye-servisy/informatsionno-poiskovaya-sistema/index.php> (дата обращения: 27.11.2020)
4. MATLAB : [раздел сайта] // MathWorks : [сайт]. - 1994-2020. - URL: <https://www.mathworks.com/help/matlab/index.html> (дата обращения: 27.11.2020)
5. 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 «перевернутый класс». Учебный процесс начинается с постановки проблемного задания, для выполнения которого студент должен самостоятельно ознакомиться с материалом, размещенным в электронной среде. В аудитории проверяются и дополняются полученные знания с помощью дискуссий и решения практических задач. Работа поводится по следующей схеме: СРС (онлайновая предаудиторная работа с использованием внешнего или внутреннего ресурса) - аудиторная работа (семинары с представлением и обсуждением выполненной работы, решение практических задач с опорой на результаты самостоятельной работы) - обратная связь с обсуждением и подведением итогов.

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.

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

| <b>Наименование учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы</b> | <b>Оснащенность учебных аудиторий и помещений для самостоятельной работы</b>                                                                    | <b>Перечень программного обеспечения</b>                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Учебная аудитория                                                            | Не требуется                                                                                                                                    | Не требуется                                                                                                                                                       |
| 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.КС «Способен использовать методы квантовой статистики для описания процессов, протекающих в функциональных устройствах нанoeлектроники».

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, практических занятий 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. Преподаватель, ведущий лекции, предоставляет студентам все необходимые для этого методические материалы, а также проводит для желающих еженедельные консультации. Тема консультации, как правило, повторяет тему лекции, которая проводилась на неделе, предшествующей консультации. На консультациях обсуждаются задачи повышенного уровня сложности, теоретический материал по теме. Безусловно, во время консультаций можно получить помощь и по всем вопросам базового уровня.

На семинарах студенты получают навыки решения практических задач. Каждая задача представляет собой миниатюрную исследовательскую проблему, а процесс её решения моделирует научно-исследовательскую работу.

Контроль самостоятельно решенных студентами практических задач проводится на дифференцированном зачёте.

Обязательным условием допуска к дифференцированному зачёту является успешная сдача всех контрольных работ.

### **11.2. Система контроля и оценивания**

Для оценки успеваемости студентов по дисциплине используется накопительная балльная система.

Баллами оценивается: выполнение каждого контрольного мероприятия в семестре (40 баллов) и сдача дифференцированного зачёта (60 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 статистика» по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника», направленности (профилю) «Квантовые приборы и нанoeлектроника» разработана на кафедре квантовой физики и нанoeлектроники (КФН) и утверждена на заседании кафедры 17 декабря 2020 года, протокол № 12

Заведующий кафедрой КФН  /А. А. Горбацевич/

### ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

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 /