

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Р.Е. АЛЕКСЕЕВА» (НГТУ)**

---

**Институт ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭиТФ)**

(Полное и сокращенное название института, реализующего данное направление)

**УТВЕРЖДАЮ:**

**Директор института:**

\_\_\_\_\_ Хробостов А.Е.  
подпись ФИО

“ 15 ” июня 2021г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
Б1.В.ОД.1 «Квантовая механика и статистическая физика»**

(индекс и наименование дисциплины по учебному плану)

**для подготовки бакалавров**

Направление подготовки: 14.03.02 Ядерная физика и технологии

Направленность: Ядерные реакторы и энергетические установки

Форма обучения: очная

Год начала подготовки 2021

Выпускающая кафедра ЯРиЭУ

Кафедра-разработчик ОиЯФ

Объем дисциплины 108/3  
часов/з.е

Промежуточная аттестация зачет

Разработчик: Мизонова В.Г. к.ф.-м.н., доцент кафедры «Общая и ядерная физика»

**Нижний Новгород  
2021г**

Рецензент<sup>1</sup>: Раевский А.С., зав. кафедрой ФТОС НГТУ, профессор, д. ф-м. н. \_\_\_\_\_  
(ФИО, ученая степень, ученое звание) (подпись)

« 1 » июня 2021 г.

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки \_\_\_\_\_ 14.03.02 Ядерная физика и технологии \_\_\_\_\_, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ

от 28.02.2018 № 150 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ

протокол от 15.06.2021 № 7

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры разработчика программы протокол от 1.06.2021 № 4

Зав. кафедрой *д.т.н, профессор, Бударлагин Р.В.* \_\_\_\_\_  
подпись

Программа рекомендована к утверждению ученым советом института, где реализуется данная программа \_\_\_\_\_, Протокол от 10.06.2021 № 3

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 14-03-02-Я-26  
Начальник МО \_\_\_\_\_

Заведующая отделом комплектования НТБ \_\_\_\_\_  
(подпись)

<sup>1</sup> Рецензент должен быть с другой профильной кафедры или организации. Шаблон рецензии указан в приложении 1.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....                                                                       | 4  |
| 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....                                                           | 4  |
| 3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) .....                                  | 4  |
| 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП ВО ..... | 6  |
| 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....                                                                                | 7  |
| 6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....                           | 13 |
| 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....                                                                       | 19 |
| 8. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....                                                                             | 20 |
| 9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ .....                                                                | 21 |
| 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....      | 22 |
| 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....                                                     | 22 |
| 12. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....                                                              | 24 |
| 13. ЛИСТ АКТУАЛИЗАЦИИ.....                                                                                                | 28 |

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**1.1. Целью освоения дисциплины являются** формирование у студентов общего физического мировоззрения, цельного представления о процессах и явлениях, происходящих в неживой и живой природе, научного способа мышления, умения видеть естественнонаучное содержание проблем, возникающих в практической деятельности специалиста, а также развитие физического мышления.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):**

- изучение законов окружающего мира в их взаимосвязи;
- ознакомление студентов с историей и логикой развития физики и основных её открытий
- освоение основных физических теорий, позволяющих описать явления в природе, и пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач;
- формирование у студентов основ естественнонаучной картины мира;
- формирование навыков по применению положений теоретической физики к грамотному научному анализу ситуаций, с которыми инженеру приходится сталкиваться при создании новой техники и новых технологий;
- овладение фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач;

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Учебная дисциплина Б1.В.ОД.1 «Квантовая механика и статистическая физика» относится к обязательным дисциплинам вариативной части образовательной программы. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП, по данному направлению подготовки.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Математика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теоретическая механика», «Физика».

Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: «Математические методы моделирования физических процессов», «Ядерная физика», «Физика ядерных реакторов».

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

3.1. Процесс изучения дисциплины Б1.В.ОД.1 «Квантовая механика и статистическая физика» направлен на формирование элементов следующих общепрофессиональных компетенций в соответствии с ОП ВО по специальности 14.03.02 «Ядерная физика и технологии»:

ПКС-3. Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов;

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 - Формирование компетенций дисциплинами

| Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно                                  | Семестры формирования дисциплины |   |   |   |   |   |   |   | 9 | 10 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
|                                                                                            | 1                                | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |   |    |
| <b>ПКС-3</b>                                                                               |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Физика</i>                                                                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Прикладная физика</i>                                                                   |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Механика жидкости и газа</i>                                                            |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Механика сплошных сред</i>                                                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Техническая термодинамика</i>                                                           |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Теплопередача</i>                                                                       |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Атомная физика</i>                                                                      |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Тепловые схемы ядерных энергетических установок</i>                                     |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Квантовая механика и статистическая физика</i>                                          |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Ядерная физика</i>                                                                      |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Общее устройство судов</i>                                                              |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности</i> |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Метрология</i>                                                                          |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Научно-исследовательская работа</i>                                                     |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
| <i>Подготовка и защита ВКР</i>                                                             |                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

#### 4. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОП ВО

Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

| Код и наименование компетенции                                                                                                              | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                 | Планируемые результаты обучения по дисциплине                                                                                          |                                                                                                                            |                                                                                                                                    | Оценочные средства                                                                        |                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                        |                                                                                                                            |                                                                                                                                    | Текущего контроля                                                                         | Промежуточной аттестации                                     |
| ПКС-3. Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов | ИПКС-3.1. Создаёт математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках.                                                                                                             | <b>Знать:</b> способы применения математического аппарата для описания протекающих процессов в экспериментальных стендах и установках. | <b>Уметь:</b> создавать и оценивать математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках. | <b>Владеть:</b> способами оценки созданных математических моделей процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках. | Тестирование в системе <i>e-Learning</i> (тесты по шестнадцати темам). Контрольные работы | Задачи для зачета. Вопросы для устного собеседования: билеты |
|                                                                                                                                             | ИПКС-3.2. Пользуется современными методами учета, оценки погрешностей и статистической обработки результатов экспериментальных измерений, графического представления расчетной информации и экспериментальных данных |                                                                                                                                        |                                                                                                                            |                                                                                                                                    |                                                                                           |                                                              |

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 5.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. 108 часов, распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

| Вид учебной работы                                                                                                                                                                                              | Трудоёмкость в час |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
|                                                                                                                                                                                                                 | 5 сем              |
| <b>Формат изучения дисциплины</b>                                                                                                                                                                               | очная              |
| <b>Общая трудоёмкость</b> дисциплины по учебному плану                                                                                                                                                          | <b>108</b>         |
| <b>1. Контактная работа:</b>                                                                                                                                                                                    | <b>55</b>          |
| <b>1.1. Аудиторная работа, в том числе:</b>                                                                                                                                                                     |                    |
| занятия лекционного типа (Л)                                                                                                                                                                                    | 17                 |
| занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)                                                                                                                                                    | 34                 |
| лабораторные работы (ЛР)                                                                                                                                                                                        |                    |
| <b>1.2. Внеаудиторная, в том числе</b>                                                                                                                                                                          | <b>4</b>           |
| курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)                                                                                                                                                         | .                  |
| текущий контроль, консультации по дисциплине                                                                                                                                                                    | 4                  |
| контактная работа на промежуточном контроле (КРА)                                                                                                                                                               |                    |
| <b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>                                                                                                                                                                          | <b>53</b>          |
| реферат/эссе (подготовка)                                                                                                                                                                                       |                    |
| расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)                                                                                                                                                                  |                    |
| контрольная работа                                                                                                                                                                                              | 4                  |
| курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)                                                                                                                                                                     |                    |
| самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.) | 35                 |
| Подготовка к зачету (контроль)                                                                                                                                                                                  | 18                 |

## 5.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

| Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                           | Виды учебной работы (час) |                     |                      |                                        | Вид СРС                                             | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий                                                                                                                                       | Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                                                      | Контактная работа         |                     |                      | Самостоятельная работа студентов (час) |                                                     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                                      | Лекции                    | Лабораторные работы | Практические занятия |                                        |                                                     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
| 5 семестр                                                                                             |                                                                                                                      |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
| ПКС-3<br>ИПКС-3.1<br>ИПКС-3.2                                                                         | Тема 1.1. Некоторые теоремы механики                                                                                 | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     | 1. Диагностический безоценочный контроль,<br>2. Разноуровневые качественные, расчетные задания;<br>3. физический диктант, блиц-опрос;<br>4. Работа с систематизирующими, обобщающими таблицами, логическими схемами | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | Практическое занятие 1.1<br>Уравнения Гамильтона                                                                     |                           |                     | 2,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 1.2. Статистическое распределение                                                                               | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 1.2<br>Средние значения физических величин. Функция распределения невзаимодействующих подсистем |                           |                     | 2,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 1.3. Большое каноническое распреде-                                                                             | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1],                      |                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                               |

| Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                       | Виды учебной работы (час) |                     |                      |                                        | Вид СРС                                             | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий | Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                                                                  | Контактная работа         |                     |                      | Самостоятельная работа студентов (час) |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                                                  | Лекции                    | Лабораторные работы | Практические занятия |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | ление Гиббса                                                                                                                     |                           |                     |                      |                                        | [7.1.2], [7.1.3]                                    |                                                                               | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | <b>Практическое занятие 1.3</b><br>Большой канонический ансамбль. Условие нормировки                                             |                           |                     | 2,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Тема 1.4.</b> Распределение Гиббса и термодинамические функции                                                                | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Практическое занятие 1.4</b> Вывод термодинамических соотношений                                                              |                           |                     | 2,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Тема 1.5.</b> Каноническое распределение Гиббса                                                                               | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Практическое занятие 1-5.</b><br>Вывод термодинамических соотношений для идеального газа. Распределения Максвелла и Больцмана |                           |                     | 3,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Тема 1.6.</b> Микроканоническое распределение Гиббса                                                                          |                           |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Тема 1.7.</b> Применение теории к классическим системам                                                                       | 2,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3]     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | <b>Практическое занятие 1-7.</b>                                                                                                 |                           |                     | 3,0                  |                                        | Подготовка к практическим                           |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |

| Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                            | Виды учебной работы (час) |                     |                      |                                        | Вид СРС                                                                                                                                                                  | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий | Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                                       | Контактная работа         |                     |                      | Самостоятельная работа студентов (час) |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                       | Лекции                    | Лабораторные работы | Практические занятия |                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Применение теоремы о равномерном распределении энергии по степеням свободы и теоремы о вириале        |                           |                     |                      |                                        | занятиям [7.2.4], [7.3.1]                                                                                                                                                |                                                                               | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:                                                         |                           |                     |                      | 22,0                                   | [7.1.1], [7.1.2], [7.1.3], [7.2.1], [7.2.2], [7.2.3],                                                                                                                    |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | реферат, эссе (тема)                                                                                  |                           |                     |                      |                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | расчётно-графическая работа (РГР)                                                                     |                           |                     |                      |                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | контрольная работа                                                                                    |                           |                     |                      |                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Итого по 1 разделу                                                                                    | 7,00                      |                     | 20,00                | 22,00                                  |                                                                                                                                                                          |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
| ПКС-3<br>ИПКС-3.1<br>ИПКС-3.2                                                                         | Раздел 2. Основы квантовой механики и квантовой статистики                                            |                           |                     |                      |                                        |                                                                                                                                                                          |                                                                               | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | Тема 2.1. Постулаты квантовой механики. Некоторые теоремы в теории операторов                         | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.4]                                                                                                                                            |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.1. Соотношение неопределенностей. Вид и свойства операторов физических величин |                           |                     | 4,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1]                                                                                                                      |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 2.2. Стационарное уравнение Шредингера. Решение некоторых квантовомеханических задач             | 3,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.4]                                                                                                                                            |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                       |                           |                     |                      |                                        | 1. Диагностический безоценочный контроль,<br>2. Разноуровневые качественные, расчетные задания;<br>3. физический диктант, блиц-опрос;<br>4. Работа с систематизирующими, |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |

| Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                  | Виды учебной работы (час) |                     |                      |                                        | Вид СРС                                             | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий | Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                                                             | Контактная работа         |                     |                      | Самостоятельная работа студентов (час) |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                                             | Лекции                    | Лабораторные работы | Практические занятия |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.2. Квантовый гармонический осциллятор. Частица в потенциальной яме                                   |                           |                     | 3,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] | обобщающими таблицами, логическими схемами.                                   | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | Тема 2.3. Туннельный эффект. Пространственное квантование. Электрон в атоме водорода                                        | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.4]                       |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.3. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Электрон в атоме водорода                         |                           |                     | 3,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 2.4. Матрица плотности.                                                                                                | 1,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.4]              |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.4. Большое каноническое и каноническое распределения Гиббса. Средняя энергия квантового осциллятора. |                           |                     | 2,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 2.5. Применения квантовой статистики                                                                                   | 2,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.1], [7.1.4]              |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.5. Теплоемкость твердых тел. Формула Планка                                                          |                           |                     | 4,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |

| Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций | Наименование разделов, тем                                                                                                | Виды учебной работы (час) |                     |                      |                                        | Вид СРС                                             | Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий | Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|----------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                       |                                                                                                                           | Контактная работа         |                     |                      | Самостоятельная работа студентов (час) |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       |                                                                                                                           | Лекции                    | Лабораторные работы | Практические занятия |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Тема 2.6. Понятие о бозонах и фермионах. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна                                      | 2,0                       |                     |                      |                                        | Подготовка к лекциям. [7.1.4], [7.1.3]              |                                                                               | Квантовая механика и статистическая физика<br><a href="https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510">https://edu.nntu.ru/subject/index/card/switcher/programm/subject_id/1510</a> |
|                                                                                                       | Практическое занятие 2.6. Теплоемкость твердых тел. Статистика Бозе и Ферми в непрерывном спектре энергий. Энергия Ферми. |                           |                     | 4,0                  |                                        | Подготовка к практическим занятиям [7.2.4], [7.3.1] |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:                                                                             |                           |                     |                      | 31,0                                   | [7.2.4], [7.3.1], [7.1.4]                           |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | реферат, эссе (тема)                                                                                                      |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | расчётно-графическая работа (РГР)                                                                                         |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | контрольная работа                                                                                                        |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | Итого по 2 разделу                                                                                                        | 10,00                     |                     | 31,00                | 31,00                                  |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | расчётно-графическая работа (РГР)                                                                                         |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | контрольная работа                                                                                                        |                           |                     |                      |                                        |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | ИТОГО ЗА СЕМЕСТР                                                                                                          | 17                        |                     | 34                   | 53                                     |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |
|                                                                                                       | ИТОГО по дисциплине                                                                                                       | 17                        |                     | 34                   | 53                                     |                                                     |                                                                               |                                                                                                                                                                                                               |

## 6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам лекций и примеры заданий для контрольных работ.

### 6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности

#### 1) Тесты для текущего контроля и промежуточной аттестации знаний обучающихся

1. С помощью выражения  $H(\vec{r}_1, \vec{r}_2, \vec{p}_1, \vec{p}_2) = \frac{p_1^2 + p_2^2}{2m} + \frac{kq_1q_2}{|\vec{r}_1 - \vec{r}_2|}$  можно найти

- a) Функцию распределения системы канонического ансамбля
- b) Функцию Гамильтона одномерного гармонического осциллятора
- c) Функцию Гамильтона двух точечных зарядов

2. Система с очень большим числом степеней свободы называется

- a) Равновесная система
- b) Макросистема
- c) Мегасистема

3. Микросостояние – состояние, характеризующееся

- a) динамическими величинами всех ее частиц
- b) термодинамическими величинами
- c) очень малыми значениями объема, занимаемого системой

4. Является ли верным утверждение «статистическая функция распределения есть аддитивная величина»

- a) Да
- b) Нет

5. В формуле  $\rho = \exp\left(\frac{\Omega - E - \mu N}{T}\right)$  буквой  $\Omega$  принято обозначать

- a) Химический потенциал системы
- b) Большой термодинамический потенциал
- c) Гамильтониан системы

6. Утверждение о равенстве средних по статистическому ансамблю и по времени носит название

- a) Постулата о равновероятности микросостояний
- b) Теоремы о вириале
- c) Эргодической гипотезы

7. Совокупность замкнутых систем, находящихся в состоянии равновесия, называется

- a) Канонический ансамбль

- b) Микроканонический ансамбль
- c) Большой канонический ансамбль

8. Параболическая зависимость от частоты в области малых частот может

- a) Описывать спектральную плотность энергии абсолютно черного тела
- b) Описывать среднюю энергию гармонического осциллятора в состоянии термодинамического равновесия
- c) Описывать среднюю энергию ангармонического осциллятора в состоянии термодинамического равновесия

9. Формула  $\frac{1}{N!(2\pi\hbar)^{3N}} \int_{\Gamma} \rho_N(\vec{q}, \vec{p}) d\vec{q} d\vec{p} = 1$  есть

- a) Большое каноническое распределение Гиббса
- b) Условие нормировки для канонического распределения Гиббса
- c) Одно из соотношений Максвелла

10. По формуле  $\int d\vec{p} d\vec{q}$  можно найти

- a) Число микросостояний системы
- b) Фазовый объем системы
- c) Гамильтониан системы

11. Какая идея НЕ использовалась при создании квантовой механики

- a) Идея о детерминизме всех явлений и процессов
- b) Идея корпускулярно-волнового дуализма
- c) Идея о вероятностном описании состояний

12. Собственные функции эрмитовского оператора, соответствующие разным собственным значениям,

- a) Действительны
- b) Взаимно ортогональны
- c) Линейно зависимы

13. Если у операторов двух физических величин одинаковый набор собственных функций, то соответствующие физические величины

- a) должны совпадать
- b) не коррелируют
- c) могут быть измерены одновременно

14. Из уравнения  $-\frac{\hbar^2}{2m}\Delta\psi + \frac{m\omega^2 x^2}{2}\psi = E\psi$  можно найти

- a) Состояние электрона в атоме водорода
- b) Собственные значения оператора момента импульса
- c) Энергию одномерного гармонического осциллятора

15. Предположение о связи теплоемкости твердого тела с хаотическим звуком используется в

- a) В модели Эйнштейна
- b) В модели Дебая
- c) В законе Дюлонга и Пти

16. С помощью формулы  $[\hat{f}, \hat{g}]$  можно

- a) Проверить эрмитовость операторов физических величин
- b) Выяснить, могут ли разные физические величины принимать определенные значения в одном квантовом состоянии
- c) Вычислить значения физических величин  $f$  и  $g$  в заданном квантовом состоянии

17. Фермионами называются

- a) Частицы с целым спином
- b) Частицы, волновая функция которых антисимметрична относительно перестановок частиц
- c) Частицы, число которых в одном квантовом состоянии может быть любым

18. Могут ли быть одновременно измеримы координата  $z$  и проекция импульса на ось  $x$ ?

- a) Могут
- b) Не могут
- c) Могут только для фермионов

19. Явление, при котором все частицы переходят в состояние с нулевой энергией, называется

- a) Бозе-конденсацией
- b) Явлением переноса
- c) Туннельным эффектом

20. Сверхтекучее состояние возможно только для

- a) Фермионов
- b) Электронов
- c) Бозонов

2) **Вопросы для подготовки к контрольным мероприятиям (текущий контроль)**

1. Подсчитать число состояний для подсистемы из  $N$  частиц идеального газа в объеме  $V$  с энергиями, меньше заданной
2. Используя уравнение Клапейрона-Клаузиуса, найти зависимость давления насыщенного пара от температуры. Оценить удельную скрытую теплоту перехода
3. Используя функцию свободной энергии, получить уравнения состояния и соотношения Максвелла
4. Вывести распределение Максвелла для энергии идеального одноатомного газа, найти вероятное и среднее значения энергии.
5. Вычислить число микросостояний и записать микроканоническое распределение Гиббса для изолированной системы, состоящей из  $N$  независимых тождественных гармонических осцилляторов
6. С помощью теоремы о вириале вывести уравнение состояния идеального газа
7. Доказать, что собственные функции эрмитовского оператора, соответствующие различным собственным значениям, ортогональны.
8. Проверить эрмитовость операторов кинетической и потенциальной энергий гамильтониана
9. Используя соотношение неопределенности, оценить энергию нулевых колебаний
10. Вывести формулу распределения Бозе-Эйнштейна
11. Вывести формулу распределения Ферми-Дирака
12. Считая фотоны идеальным газом бозонов с равным нулю химическим потенциалом, вывести формулу Планка
13. Найти постоянную альфа-распада

### **3) Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию (зачет)**

1. Уметь записать функцию Гамильтона и уравнения Гамильтона для простейших систем.
2. Понятие функции распределения в фазовом пространстве и ее свойства.
3. Эргодическая гипотеза.
4. Большой канонический ансамбль. Большое каноническое распределение Гиббса.
5. Условие нормировки для большого канонического распределения Гиббса.
6. Канонический ансамбль. Каноническое распределение Гиббса.
7. Условие нормировки для канонического распределения Гиббса.
8. Микроканонический ансамбль. Постулат о равновероятности микросостояний.
9. Микроканоническое распределение Гиббса. Смысл величины  $\Omega(E)$  в микроканоническом распределении.
10. Распределение Максвелла (уметь переходить от одной формы распределения к другой).
11. Распределение Больцмана.
12. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.
13. Средняя энергия классического осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
14. Теплоемкость двухатомного идеального газа (графическая зависимость).

15. Абсолютно черное тело. Формула Рэлея-Джинса.
16. Постулаты квантовой механики.
17. Понятие о волновой функции. Вид операторов координаты, импульса и полной энергии (Гамильтона).
18. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера.
19. Соотношение неопределенностей.
20. Матрица плотности.
21. Понятие о бозонах и фермионах.
22. Принцип Паули.
23. Распределение Бозе-Эйнштейна.
24. Формула Планка. Уметь нарисовать график.
25. Вырожденный бозе-газ.
26. Бозе-конденсация. Явления сверхтекучести и сверхпроводимости.
27. Распределение Ферми-Дирака. Нарисовать зависимость среднего числа частиц в квантовом состоянии от энергии при  $T = 0$  и при  $T \ll T_F$
28. Вырожденный ферми-газ.
29. Средняя энергия квантового осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
30. Теплоемкость твердого тела (графическая зависимость). Закон Дюлонга и Пти.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Общая и ядерная физика».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ

| Шкала оценивания | Контрольная неделя  | Зачет   |
|------------------|---------------------|---------|
| $40 < R \leq 50$ | Отлично             | зачет   |
| $30 < R \leq 40$ | Хорошо              |         |
| $20 < R \leq 30$ | Удовлетворительно   |         |
| $0 < R \leq 20$  | Неудовлетворительно | незачет |

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается по четырех-балльной системе «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Таблица 6 – Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

| Код и наименование компетенции                                                                                                              | Код и наименование индикатора достижения компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                             | Критерии оценивания результатов обучения                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Оценка<br>«неудовлетворительно»<br>/ «не зачтено»<br>0-59%<br>от max рейтинговой<br>оценки контроля                                                                                                                                                                                | Оценка<br>«удовлетворительно» /<br>«зачтено»<br>60-74%<br>от max рейтинговой оценки<br>контроля                                                                                                                                                                                                                                                                           | Оценка<br>«хорошо» /<br>«зачтено»<br>75-89%<br>от max рейтинговой<br>оценки контроля                                                                                                 | Оценка<br>«отлично» /<br>«зачтено»<br>90-100%<br>от max рейтинговой<br>оценки контроля                                                                                                                                                                      |
| ПКС-3. Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов | ИПКС-3.1. Создаёт математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках.<br>ИПКС-3.2. Пользуется современными методами учета, оценки погрешностей и статистической обработки результатов экспериментальных измерений, графического представления расчетной информации и экспериментальных данных | Изложение учебного материала бессистемное, неполное, не усвоены основные математические модели процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках, непонимание их использования в рамках поставленных целей и задач, что препятствует усвоению последующего материала | Фрагментарные, поверхностные знания математических моделей процессов, протекающих в экспериментальных стендах и установках.<br>Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего материала. Допускаются отдельные существенные ошибки, исправленные с помощью преподавателя. Затруднения при формулировании результатов и их решений | Знает материал на достаточно хорошем уровне; представляет основные задачи профессиональной деятельности, имеет навык в постановки целей и выбора оптимальных способов их достижения. | Имеет глубокие знания всего материала структуры дисциплины; освоил новации лекционного курса по сравнению с учебной литературой; изложение полученных знаний полный, системное; допускаются единичные ошибки, самостоятельно исправляемые при собеседовании |

Таблица 7 – Критерии оценивания

| Оценка                                        | Критерии оценивания                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Высокий уровень «5» (отлично)                 | оценку <b>«отлично»</b> заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы. |
| Средний уровень «4» (хорошо)                  | оценку <b>«хорошо»</b> заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.                                                              |
| Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)     | оценку <b>«удовлетворительно»</b> заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.        |
| Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно) | оценку <b>«неудовлетворительно»</b> заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.                                                                                                     |

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

| № п/п  | Автор(ы)                   | Заглавие                                                               | Издательство, год издания                                                  | Назначение, вид издания, гриф                                                                                                                  | ISBN              |
|--------|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 7.1.1. | Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. | Теоретическая физика: В 10 т. Т.V. Статистическая физика. В 2 ч. Ч. 1  | Издательство "Физматлит" 2021                                              | Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов физических специальностей университетов | 978-5-9221-1510-0 |
| 7.1.2. | Сивухин Д. В.              | Общий курс физики: В 5 т. Т.II. Термодинамика и молекулярная физика    | Издательство "Физматлит" 2021                                              | Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов физических специальностей университетов | 978-5-9221-1514-8 |
| 7.1.3. | Иродов И. Е..              | Физика макросистем. Основные законы: учебное пособие                   | Издательство "Лаборатория знаний" (ранее "БИНОМ. Лаборатория знаний") 2020 | Учебное пособие рекомендовано науч.-метод. советом по физике м-ва образования и науки РФ                                                       | 978-5-00101-826-1 |
| 7.1.4. | Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. | Теоретическая физика: В 10 т. Т.III. Квантовая механика (нерелятивист- | Издательство "Физматлит" 2021                                              | Рекомендовано Министерством образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов физических специальностей               | 978-5-9221-0530-9 |

|  |  |              |  |                    |  |
|--|--|--------------|--|--------------------|--|
|  |  | ская теория) |  | стей университетов |  |
|--|--|--------------|--|--------------------|--|

## 7.2. Справочно-библиографическая литература

| № п/п  | Автор(ы)                                                   | Заглавие                                                                     | Издательство, год издания | Назначение, вид издания, гриф    | Кол-во экз. в библиотеке |
|--------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 7.2.1. | Терлецкий Я.П.                                             | Статистическая физика                                                        | М.:Высшая школа; 1966     | Учебное пособие                  | 2                        |
| 7.2.2. | Хуанг К.                                                   | Статистическая механика                                                      | М.: Мир; 1966             | Учебное пособие                  | 2                        |
| 7.2.3. | Кубо Р.                                                    | Статистическая механика. Современный курс с задачами и решениями             | М.: Мир 1967              | Учебное пособие рекомендовано м- | 2                        |
| 7.2.4. | Гречко Л.Г., Сугаков В.И., Томасевич О.Ф., Федорченко А.М. | Сборник задач по теоретической физике : Учеб.пособие для студ.физ.спец.вузов | М.: Высшая школа 1972     | Учебное пособие                  | 1                        |

## 7.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика» находятся на кафедре «ОиЯФ».

| № п/п  | Автор(ы)                    | Заглавие                          | Издательство, год издания  | Назначение, вид издания, гриф | ISBN              |
|--------|-----------------------------|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|
| 7.3.1. | Беспалов П.А., Савина О.Н., | Лекции по статистической механике | НГТУ, Нижний Новгород 2013 | Учебное пособие               | 978-5-502-00177-9 |

## 8. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

### 8.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
2. Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.

3. Электронно-библиотечная система Znanium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znanium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

## 8.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

| № | Наименование ЭБС     | Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС                            |
|---|----------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Консультант студента | <a href="http://www.studentlibrary.ru/">http://www.studentlibrary.ru/</a> |
| 2 | Лань                 | <a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>               |
| 3 | Юрайт                | <a href="https://biblio-online.ru/">https://biblio-online.ru/</a>         |

В таблице 10 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

| № | Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы | Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)                  |
|---|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | 2                                                                           | 3                                                                                                             |
| 1 | База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ                           | <a href="https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts">https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts</a> |
| 2 | Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем     | <a href="https://cyberpedia.su/21x47c0.html">https://cyberpedia.su/21x47c0.html</a>                           |

## 9. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

| № | Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ | Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования |
|---|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | ЭБС «Консультант студента»                                                                     | озвучка книг и увеличение шрифта                                                                        |
| 2 | ЭБС «Лань»                                                                                     | специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации  |
| 3 | ЭБС «Юрайт»                                                                                    | версия для слабовидящих                                                                                 |

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

Для проведения лекционных демонстраций имеется демонстрационный кабинет 5307 рядом с лекционной аудиторией 5303, оснащённый приборами, макетами, различными установками.

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

### 11.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ОиЯФ» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях, практических и лабораторных занятиях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе над домашним заданием, подробно разбираются на лабораторных занятиях, практических занятиях и лекциях. Прово-

дятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom. Иницируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена с учетом текущей успеваемости.

**Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

**Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне**, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

**Результат обучения считается несформированным**, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

## **11.2. Методические указания для занятий лекционного типа**

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям / лабораторным работам и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

## **11.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях**

Практические занятия представляют собой детализацию лекционного теоретического материала, проводятся в целях закрепления курса и охватывают все основные разделы. Основной формой проведения практических занятий является обсуждение наиболее проблемных и сложных вопросов по отдельным темам, а также решение задач и разбор примеров и ситуаций в аудиторных условиях.

Практические занятия обучающихся обеспечивают:

- проверку и уточнение знаний, полученных на лекциях;
- получение умений и навыков решения задач;
- подведение итогов занятий по рейтинговой системе, согласно технологической карте дисциплины.

#### **11.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся**

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным занятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ОиЯФ».

### **12. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости**

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится **комплексная оценка знаний**, включающая

- проведение контрольных работ;
- теоретический опрос;
- зачет.

#### **12.1. Типовые задания к практическим занятиям**

1. Используя уравнение Клапейрона-Клаузиуса, найти зависимость давления насыщенного пара от температуры. Оценить удельную скрытую теплоту перехода
2. Используя функцию свободной энергии, получить уравнения состояния и соотношения Максвелла
3. Вывести распределение Максвелла для энергии идеального одноатомного газа, найти вероятное и среднее значения энергии.

4. Вычислить число микросостояний и записать микроканоническое распределение Гиббса для изолированной системы, состоящей из  $N$  независимых тождественных гармонических осцилляторов
5. С помощью теоремы о вириале вывести уравнение состояния идеального газа
6. Доказать, что собственные функции эрмитовского оператора, соответствующие различным собственным значениям, ортогональны.
7. Проверить эрмитовость операторов кинетической и потенциальной энергий гамильтониана
8. Используя соотношение неопределенности, оценить энергию нулевых колебаний
9. Вывести формулу распределения Бозе-Эйнштейна
10. Вывести формулу распределения Ферми-Дирака

## 12.2. Вопросы к зачету, проводимому по окончании дисциплины

1. Понятие функции распределения в фазовом пространстве и ее свойства.
2. Эргодическая гипотеза.
3. Большой канонический ансамбль. Большое каноническое распределение Гиббса.
4. Условие нормировки для большого канонического распределения Гиббса.
5. Канонический ансамбль. Каноническое распределение Гиббса.
6. Условие нормировки для канонического распределения Гиббса.
7. Микроканонический ансамбль. Постулат о равновероятности микросостояний.
8. Микроканоническое распределение Гиббса. Смысл величины  $\Omega(E)$  в микроканоническом распределении.
9. Распределение Максвелла (уметь переходить от одной формы распределения к другой).
10. Распределение Больцмана.
11. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы. Внутренняя энергия идеального газа.
12. Средняя энергия классического осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
13. Теплоемкость двухатомного идеального газа (графическая зависимость).
14. Абсолютно черное тело. Формула Рэлея-Джинса.
15. Постулаты квантовой механики.
16. Понятие о волновой функции. Вид операторов координаты, импульса и полной энергии (Гамильтона).
17. Нестационарное и стационарное уравнения Шредингера.
18. Соотношение неопределенностей.
19. Матрица плотности.
20. Понятие о бозонах и фермионах.
21. Принцип Паули.
22. Распределение Бозе-Эйнштейна.
23. Формула Планка. Уметь нарисовать график.
24. Вырожденный бозе-газ.
25. Бозе-конденсация. Явления сверхтекучести и сверхпроводимости.
26. Распределение Ферми-Дирака. Нарисовать зависимость среднего числа частиц в квантовом состоянии от энергии при  $T = 0$  и при  $T \ll T_F$

27. Вырожденный ферми-газ.
28. Средняя энергия квантового осциллятора (находящегося в тепловом равновесии с термостатом).
29. Теплоемкость твердого тела (графическая зависимость). Закон Дюлонга и Пти.

### **12.3. Типовые задания для текущего контроля**

#### **Контрольная работа №1 (1 час).**

##### Вариант №1

1. Две частицы могут двигаться по плоскости. Сколько измерений имеет фазовое пространство для системы из этих двух частиц?
2. Записать функцию Гамильтона для заряженной частицы с зарядом  $q$  и массой  $m$ , находящейся в поле точечного заряда  $Q$ ? Считать, что этот заряд находится в начале координат
3. В закрытом сосуде в отсутствие силовых полей находится  $N$  молекул идеального газа. В закрытом сосуде в отсутствие силовых полей находится  $N$  молекул идеального газа. Чему равна вероятность того, что в одной десятой части сосуда окажутся все  $N$  частиц?

##### Вариант №2

1. Чему равна энтропии системы, у которой возможно только одно микросостояние?
2. Найти, чему равно число микросостояний свободной частицы массы  $m$  и энергией  $E$ , движущейся вдоль отрезка длины  $l$
3. Предположим, что на некоторой планете ускорение свободного падения в 2 раза больше, чем на Земле, атмосфера состоит из углекислого газа и температура составляет 400 К. Найти высоту однородной атмосферы.

#### **Контрольная работа №2 (1 час).**

##### Вариант №1

1. Пусть возможны состояния  $\psi_1$  и  $\psi_2$ , причем энергия частицы в первом состоянии равна  $\varepsilon_1$ , а во втором состоянии  $\varepsilon_2$ . С какой вероятностью энергия частицы

будет принимать значение  $\varepsilon_2$  в состоянии с волновой функцией

$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_1 - i\psi_2) \quad (i - \text{мнимая единица})?$$

2. Волновая функция частицы равна  $\psi = A \exp\left(-\frac{x^2}{2} + ikx\right)$ . Найти  $A$ .
3. Волновая функция частицы равна  $\psi = A \exp\left(-\alpha^2 x^2 + \frac{3i}{\hbar} p_0 x\right)$ . Найти среднее значение импульса в этом состоянии.

#### Вариант №2

1. Волновая функция частицы равна  $\psi = A \exp(-\alpha^2 x^2)$ . Найти среднее значение координаты в этом состоянии.
2. Чему равно значение  $\int \varphi_m^* \varphi_n dV$ , где  $\varphi_m$  и  $\varphi_n$  - нормированные собственные функции некоторого оператора физической величины, соответствующие разным собственным значениям?
3. Найти коммутаторов операторов координаты  $x$  и проекции импульса на ось  $x$

Полный фонд оценочных средств находится на кафедре «ОиЯФ».

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института ИЯЭиТФ

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Лист актуализации рабочей программы дисциплины**  
**Б1.В.ОД.1 «Квантовая механика и статистическая физика»**  
индекс по учебному плану, наименование

для подготовки бакалавров

Направление: {шифр – название} \_\_14.03.02 Ядерная физика и технологии

Направленность: Ядерные реакторы и энергетические установки

Форма обучения очная

Год начала подготовки: 2021

Курс 3

Семестр 1

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20\_\_ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

- 1) .....
- 2) .....
- 3) .....В.....

Разработчик (и): Мизонова В.Г. к.ф.-м.н., доцент кафедры «Общая и ядерная физика»  
(ФИО, ученая степень, ученое звание) «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ОиЯФ  
\_\_\_\_\_ протокол № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Заведующий кафедрой проф. Бударягин Р.В.

**Лист актуализации принят на хранение:**

Заведующий выпускающей кафедрой ЯРиЭУ \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Методический отдел УМУ: \_\_\_\_\_ «\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## РЕЦЕНЗИЯ

на рабочую программу дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика»  
ОП ВО по направлению 14.03.02 – Ядерная физика и технологии,  
направленность – Ядерные реакторы и энергетические установки  
(квалификация выпускника –бакалавр)

Раевский А.С., зав. кафедрой ФТОС НГТУ им. Р.Е. Алексеева, профессор, д. ф-м. н. (далее по тексту рецензент), проведена рецензия рабочей программы дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» ОП ВО по направлению 14.03.02 – Ядерная физика и технологии, направленность – Ядерные реакторы и энергетические установки (бакавриат) разработанной в ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р.Е. Алексеева», на кафедре ОиЯФ (разработчик – Мизонова В.Г., доцент, к. ф-м. н.). Рассмотрев представленные на рецензию материалы, рецензент пришел к следующим выводам:

Программа соответствует требованиям ФГОС ВО по направлению 14.03.02 – «Ядерная физика и технологии». Программа содержит все основные разделы, соответствует требованиям к нормативно-методическим документам. Представленная в Программе актуальность учебной дисциплины в рамках реализации ОП ВО не подлежит сомнению – дисциплина относится к обязательным дисциплинам вариативной части учебного цикла – Б1.В.ОД.1.

Представленные в Программе цели дисциплины соответствуют требованиям ФГОС ВО направления 14.03.02 – «Ядерная физика и технологии».

В соответствии с Программой за дисциплиной «Квантовая механика и статистическая физика» закреплена 1 компетенция. Дисциплина и представленная Программа способны реализовать ее в объявленных требованиях.

Результаты обучения, представленные в Программе в категориях знать, уметь, владеть соответствуют специфике и содержанию дисциплины и демонстрируют возможность получения заявленных результатов.

Общая трудоёмкость дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» составляет 3 зачётных единицы (108 часов). Информация о взаимосвязи изучаемых дисциплин и вопросам исключения дублирования в содержании дисциплин соответствует действительности. Дисциплина «Квантовая механика и статистическая физика» взаимосвязана с другими дисциплинами ОП ВО и Учебного плана по направлению 14.03.02 – «Ядерная физика и технологии» и возможность дублирования в содержании отсутствует.

Представленная Программа предполагает использование современных образовательных технологий, используемые при реализации различных видов учебной работы. Формы образовательных технологий соответствуют специфике дисциплины.

Виды, содержание и трудоёмкость самостоятельной работы студентов, представленные в Программе, соответствуют требованиям к подготовке выпускников, содержащимся во ФГОС ВО направления 14.03.02 – «Ядерная физика и технологии».

Представленные и описанные в Программе формы текущей оценки знаний (опрос в форме обсуждения домашнего задания на практических занятиях, обсуждение методов решения задач, участие в тестировании, работа над домашним заданием), соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Форма промежуточного контроля знаний студентов, предусмотренная Программой, осуществляется в форме экзамена, что соответствует статусу дисциплины, как дисциплины базовой части учебного цикла – Б1.В.ОД.1 ФГОС ВО направления 14.03.02 – «Ядерная физика и технологии».

Нормы оценки знаний, представленные в Программе, соответствуют специфике дисциплины и требованиям к выпускникам.

Учебно-методическое обеспечение дисциплины представлено: основной литературой – литературой – Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика: В 10 т. Т.V. Статистическая физика. Т.III. Квантовая механика (нерелятивистская теория), Иродов И. Е. Основные законы (базовый учебник), дополнительной литературой – 4 наименования соответствует требованиям ФГОС ВО направления **14.03.02** – «Ядерная физика и технологии».

Материально-техническое обеспечение дисциплины соответствует специфике дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» и обеспечивает использование современных образовательных, в том числе интерактивных методов обучения.

Методические рекомендации студентам и методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине дают представление о специфике обучения по дисциплине «Квантовая механика и статистическая физика».

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенной рецензии можно сделать заключение, что характер, структура и содержание рабочей программы дисциплины «Квантовая механика и статистическая физика» ОП ВО по направлению **14.03.02** – «Ядерная физика и технологии», направленность «Ядерные реакторы и энергетические установки» (квалификация выпускника – бакалавр), разработанная Мизоновой В.Г., доцентом, к. ф-м. н., соответствует требованиям ФГОС ВО, современным требованиям экономики, рынка труда и позволит при её реализации успешно обеспечить формирование заявленных компетенций.

Рецензент: Раевский А.С., профессор, зав. каф. ФТОС НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д. ф-н. н.

« 1 » июня 2021 г.  
(подпись)

Подпись рецензента ФИО заверяю <sup>2</sup>

Директор ИЯЭиТФ Хробостов А.Е.

---

<sup>2</sup> Только для внешних рецензентов