

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ИМ. Л.Ф. ВЕРЕЩАГИНА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФВД РАН)**

ПРИНЯТО

На Ученом совете ИФВД РАН  
Протокол № 6 от 30.11.2020



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Физическая кинетика»**  
*наименование*

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Направление подготовки   | <b>03.06.01 Физика и астрономия</b>                    |
| Направленность (профиль) | <b>«Физика конденсированного состояния» (01.04.07)</b> |
| ООП                      |  |
| Квалификация             | <b>«Исследователь. Преподаватель-исследователь»</b>    |
| Форма обучения           | <b>очная</b>   |
| Год приема               | <b>2020</b>  |

Москва – 2020

Программа дисциплины «Физическая кинетика» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «30» июля 2014 г № 876. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г;

- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от «23» октября 2017 г. № 1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составитель: д.ф.-м.н. Михеенков А.В.

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения аспирантами дисциплины «Физическая кинетика» является изучение основных методов неравновесной термодинамики, теории флуктуаций, кинетики неравновесных систем.

1.2. Задачи освоения дисциплины:

- выработка практических навыков анализа проблем теоретической физики;
- ознакомление с последними достижениями квантовой теории поля и физики высоких энергий.

Для достижения задач, поставленных при изучении дисциплины, используется набор методических средств: учебная, учебно-методическая литература, информационные ресурсы библиотеки, электронные курсы и др.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП АСПИРАНТУРЫ

2.1. Учебная дисциплина «Физическая кинетика» входит в Блок (Дисциплины по выбору) и относится к вариативной части ООП по направлению подготовки 03.06.01 - Физика и астрономия, направленность «Физика конденсированного состояния» (01.04.07). Индекс дисциплины по учебному плану — Б1.В.ДВ.1.2. Дисциплина изучается на 2 курсе.

2.2. Актуальность курса обусловлена большой практической значимостью физических явлений в конденсированных средах и необходимостью создания различного рода устройств и приборов, основанных на использовании явлений в твёрдых телах, гетерогенных структурах и кристаллах. Изучение данной дисциплины базируется на следующих дисциплинах подготовки бакалавров, специалистов или магистров: «Физика», «Химия», «Кристаллография», «Физика твердого тела», «Информатика», «Программирование».

В результате освоения дисциплины «Физическая кинетика» обучающийся должен:

**Знать:**

- теоретические основы кинетического подхода для исследования термодинамики неравновесных систем;
- современное состояние в указанном разделе теоретической физики.

**Уметь:**

- формулировать и доказывать основные результаты физической кинетики.

**Владеть:**

- навыками вычисления (в простых задачах) макроскопических характеристик системы;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории, в библиотеке и Интернете;
- культурой постановки и проведения эксперимента при использовании научного оборудования;
- навыками грамотной обработки результатов экспериментов и сопоставления с теоретическими и литературными данными;
- научной картиной мира.

2.3. Основные положения дисциплины могут быть использованы в дальнейшем при прохождении научно-исследовательской практики и государственной итоговой аттестации.

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

Процесс изучения дисциплины «Физическая кинетика» направлен на формирование

элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ООП ВО по данному направлению подготовки:

- а) универсальных (УК-1, УК-3, УК-4);
- б) общепрофессиональных (ОПК-1);
- в) профессиональных (ПК-1, ПК-2, ПК-3).

**Таблица 1.**  
**Декомпозиция результатов обучения**

| Код компетенции | Планируемые результаты освоения дисциплины  |  |   |
|-----------------|---|--|---|
|                 | Знать (1)   | Уметь (2)  | Владеть (3)   |
| <b>УК-1</b>     | ИУК-1.1.1<br>о современных научных достижениях, генерировании новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях                                       | ИУК-1.2.1<br>проявлять способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях | ИУК-1.3.1<br>способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях |
| <b>УК-3</b>     | ИУК-3.1.1<br>об участии в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач   | ИУК-3.2.1<br>принимать участие в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач   | ИУК-3.3.1<br>готовностью участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач  |
| <b>УК-4</b>     | ИУК-4.1.1<br>современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках   | ИУК-4.2.1<br>использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках   | ИУК-4.3.1<br>готовностью использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках  |
| <b>ОПК-1</b>    | ИОПК-1.1.1<br>о способности самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно- | ИОПК-1.2.1<br>самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-                            | ИОПК-1.3.1<br>способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-      |

|             | коммуникационных технологий  | коммуникационных технологий  | коммуникационных технологий  |
|-------------|--|--|--|
| <b>ПК-1</b> | ИПК-1.1.1<br>о применении современных и перспективных методов исследования и решении профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы                               | ИПК-1.2.1<br>самостоятельно проводить научно-исследовательскую работу с применением современных и перспективных методов исследования и решать профессиональные задачи с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы | ИПК-1.3.1<br>способностью к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы с применением современных и перспективных методов исследования и решению профессиональных задач с учетом мировых тенденций развития области науки в соответствии с направленностью программы |
| <b>ПК-2</b> | ИПК-2.1.1<br>о способности анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовности применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации | ИПК-2.2.1<br>анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации  | ИПК-2.3.1<br>способностью анализировать результаты научных исследований и представлять их в виде докладов, статей, готовностью применять на практике навыки составления и оформления научных отчетов и научно-технической документации   |
| <b>ПК-3</b> | ИПК-3.1.1<br>о способности использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов  | ИПК-3.2.1<br>использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов  | ИПК-3.3.1<br>способностью использовать профессионально-профилированные навыки и знания в области информационных технологий, программного обеспечения и ресурсов сети Интернет для обработки и анализа полученных научных результатов   |

Профессиональные компетенции выпускника программы аспирантуры по направлению подготовки «Физика и астрономия», направленность «Физика конденсированного состояния» 01.04.07 осваиваются в течение всего периода обучения в рамках дисциплин вариативной части и научно-исследовательской практики независимо от формирования других компетенций, и обеспечивают реализацию обобщенной трудовой функции «Проводить научные исследования и реализовывать проекты». Для того чтобы формирование профессиональных компетенций было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы аспирантуры, должен:

**ЗНАТЬ:** понятия, определения и законы физической кинетики, основные ограничения и допущения теории, принципы описание неравновесных макроскопических систем.

**УМЕТЬ:** проводить классификацию и анализ неравновесных систем.

**ВЛАДЕТЬ:** математическим аппаратом для расчета физических характеристик неравновесных систем.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, в том числе 30 часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (из них 20 часов – лекции, 10 часов – практические, семинарские занятия), 38 часов – на самостоятельную работу обучающихся и 4 часа – на контроль.

Таблица 2.

Структура и содержание дисциплины

| № п/п        | Наименование раздела, темы   | Семестр | Неделя семестра | Контактная работа (в часах) |           |    | Самостоят. работа | Контроль | Формы текущего контроля успеваемости (по темам)<br><br>Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|--------------|------------------------------|---------|-----------------|-----------------------------|-----------|----|-------------------|----------|--|
|              |                              |         |                 | Л                           | ПЗ        | ЛР |                   |          |  |
| 1            | Теория флуктуаций            | 3       | 1-17            | 6                           | 4         |    | 12                |          | участие аспирантов в научных семинарах   |
| 2            | Кинетика классических систем | 4       | 20-32           | 6                           | 4         |    | 14                |          | представление докладов на научные конференции  |
| 3            | Кинетика квантовых систем    | 4       | 33-44           | 8                           | 2         |    | 12                |          | подготовка научных статей  |
| 4            | Зачет                        | 4       | 9-10            |                             |           |    |                   | 4        | проведение зачета  |
| <b>ИТОГО</b> |                              |         |                 | <b>20</b>                   | <b>10</b> |    | <b>38</b>         | <b>4</b> | <b>ЗАЧЕТ</b>   |

Условные обозначения:

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы;

СР – самостоятельная работа по отдельным темам

Таблица 3.

Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины и формируемых в них компетенций

| Темы, разделы дисциплины | Кол-во часов | Компетенции |       |       |        |       |       |       |                              |
|--------------------------|--------------|-------------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------------------------------|
|                          |              | УК -1       | УК -3 | УК -4 | ОПК -1 | ПК -1 | ПК -2 | ПК -3 | общее количество компетенций |
| Тема 1                   | 22           | +           | +     | +     | +      | +     | +     | +     | 7                            |
| Тема 2                   | 24           | +           | +     | +     | +      | +     | +     | +     | 7                            |
| Тема 3                   | 22           | +           | +     | +     | +      | +     | +     | +     | 7                            |
| Тема 4                   | 4            | +           | +     | +     | +      | +     | +     | +     | 7                            |
| <b>Итого</b>             | <b>72</b>    |             |       |       |        |       |       |       |                              |

#### Содержание тем дисциплины

##### Тема 1. Теория флуктуаций

Мера флуктуаций. Формула Эйнштейна для вероятности флуктуаций. Гауссово распределение вероятности малых флуктуаций. Флуктуации системы, помещенной в термостат. Рассеяние света флуктуациями. Формула Рэлея. Корреляция флуктуаций во времени. Теорема Винера - Хинчина. Принцип симметрии кинетических коэффициентов (соотношения Онзагера). Элементы термодинамики необратимых процессов. Теорема Онзагера. Производство энтропии

## **Тема 2. Кинетика классических систем**

Кинетическое уравнение для классических систем. Кинетическое уравнение Больцмана. Уравнения Власова для бесстолкновительной плазмы. Теория броуновского движения. Основное кинетическое уравнение (уравнение баланса). Н - теорема Больцмана. Случайные марковские процессы. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера - Планка.

## **Тема 3. Кинетика квантовых систем**

Квазиравновесное распределение. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора. Интегральные уравнения и теория возмущений для неравновесного статистического оператора. Обобщенные кинетические уравнения.

# **5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ**

## **5.1. Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения.**

Основные формы занятий по дисциплине - лекции и практические занятия.

Лекция представляет собой систематичное, последовательное устное изложение преподавателем определенного раздела учебной дисциплины. Слушание лекции предполагает активную мыслительную деятельность аспирантов, главная задача которых - понять сущность рассматриваемой темы, уловить логику рассуждений лектора; размышляя вместе с ним, оценить его аргументацию, составить собственное мнение об изучаемых проблемах и соотнести услышанное с тем, что уже изучено. И при этом аспирант должен еще успевать делать записи изложенного в лекции материала.

Ведение конспектов является творческим процессом и требует определенных умений и навыков. Целесообразно следовать некоторым практическим советам: формулировать мысли кратко и своими словами, записывая только самое существенное; учиться на слух отделять главное от второстепенного; оставлять в тетради поля, которые можно использовать в дальнейшем для уточняющих записей, комментариев, дополнений; постараться выработать свою собственную систему сокращений часто встречающихся слов (это дает возможность меньше писать, больше слушать и думать).

Сразу после лекции полезно просмотреть записи и по свежим следам восстановить пропущенное, дописать недописанное. Важно уяснить, что лекция - это не весь материал по изучаемой теме, который дается аспирантам для его «зубрежки». Прежде всего, это – «путеводитель» аспирантам в их дальнейшей самостоятельной учебной и научной работе. Практическое занятие - это особая форма учебно-теоретических занятий, которая, как правило, служит дополнением к лекционному курсу. Его отличительной особенностью является активное участие самих аспирантов в объяснении вынесенных на рассмотрение проблем, вопросов. Преподаватель дает возможность аспирантам свободно высказаться по обсуждаемому вопросу и только помогает им правильно построить обсуждение.

Аспиранты заблаговременно знакомятся с планом семинарского занятия и литературой, рекомендуемой для изучения данной темы, чтобы иметь возможность подготовиться к

семинару. При подготовке к занятию необходимо: проанализировать его тему, подумать о цели и основных проблемах, вынесенных на обсуждение; внимательно прочитать конспект лекции по этой теме; изучить рекомендованную литературу, делая при этом конспект прочитанного или выписки, которые понадобятся при обсуждении на семинаре; постараться сформулировать свое мнение по каждому вопросу и аргументированно его обосновать.

Практическое занятие помогает аспирантам глубоко овладеть предметом, способствует развитию умения самостоятельно работать с учебной литературой и документами, освоению аспирантами методов научной работы и приобретению навыков научной аргументации, научного мышления. Преподавателю же работа аспирантов на семинаре позволяет судить о том, насколько успешно они осваивают материал курса.

### ***Перечень учебно-методического обеспечения.***

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. - изд. Лань. – 2017г. - 448с.
2. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.Х. Физическая кинетика. М.: Физматлит, 2019г. - 536 с. <http://www.jemssaas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html>
3. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, М.: Физматлит. 2017. - 254 с.
4. Ландау, Л.Д. Статистическая физика: Учеб.пособие для аспирантов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского.-М.: Физматлит, Б.г.-(Теоретическая физика; Т.5). Ч.1.-5-е изд.,стереотип.-2019. - 616 с. <http://vina.scripps.edu>

### **5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Самостоятельная работа аспирантов является одним из основных видов учебной деятельности и предполагает изучение вопросов, не вошедших в основной план занятий.

Внеаудиторная самостоятельная работа аспирантов в вузе не менее важна, чем обязательные учебные занятия. Ее успешность во многом определяется тем, насколько умело, рационально сам учащийся сможет организовать свои индивидуальные занятия, насколько регулярными и своевременными они будут.

Задания и методические указания для различных видов самостоятельной работы разрабатываются с учетом её специфики, особенностей изучаемых тем, наличия учебной и методической литературы.

Систематическое освоение аспирантами необходимого учебного материала, своевременное выполнение предусмотренных учебных заданий, регулярное посещение лекционных и практических занятий позволяют подготовиться к успешному прохождению промежуточной аттестации по данной дисциплине.

В ходе самостоятельной работы аспиранты должны осуществлять:

- подготовку к занятиям, включая изучение лекций и литературы по теме занятия (используются лекции и источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы);
- выполнение индивидуальных домашних заданий по теме прошедшего занятия;
- подготовку реферата (индивидуальные задания по слабо усвоенным темам), в том числе самостоятельное изучение части теоретического материала по темам, которые заявлены в теме реферата (используются источники, представленные в перечне основной и дополнительной литературы, а также электронные ресурсы).

К самостоятельной работе аспирантов также относятся: чтение основной и дополнительной литературы – самостоятельное изучение материала по рекомендуемым литературным источникам; работа с библиотечным каталогом, самостоятельный подбор необходимой литературы; работа со словарем, справочником; поиск необходимой информации в сети Интернет; конспектирование источников; реферирование источников; составление аннотаций к прочитанным литературным источникам; составление рецензий и отзывов на прочитанный материал;

составление обзора публикаций по теме; составление и разработка терминологического словаря; составление библиографии (библиографической картотеки); подготовка к различным формам текущей и промежуточной аттестации (к тестированию, контрольной работе, зачету, экзамену); выполнение домашних контрольных работ; самостоятельное выполнение практических заданий репродуктивного типа (ответы на вопросы, задачи, тесты; выполнение творческих заданий).

**Таблица 4.**  
**Содержание самостоятельной работы обучающихся**

| Номер раздела (темы) | Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение | Кол-во часов | Формы работы                         |
|----------------------|---|--------------|--------------------------------------|
| 1                    | Теория флуктуаций                                   | 12           | Реферат                              |
| 2                    | Кинетика классических систем                        | 14           | Эссе                                 |
| 3                    | Кинетика квантовых систем                           | 12           | Конспектирование, контрольная работа |

### 5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины, выполняемые обучающимися самостоятельно

**Реферат** – продукт самостоятельной работы аспиранта, представляющий собой краткое изложение в письменном виде полученных результатов теоретического анализа определенной научной (учебно-исследовательской) темы, где автор раскрывает суть исследуемой проблемы, приводит различные точки зрения, а также собственные взгляды на нее.

Порядок работы над рефератом.

1. Выбор темы.
2. Подбор и изучение литературы.
4. Составление плана реферата.
5. Изложение основного содержания по плану реферата.
6. Оформление и научно-справочный аппарат.

Общий объём работы – 15-30 страниц печатного текста (с учётом титульного листа, содержания и списка литературы) на бумаге формата А4. В тексте должны композиционно выделяться структурные части работы, отражающие суть исследования: введение, основная часть и заключение, а также заголовки и подзаголовки. Реферат должен быть выполнен на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Интервал межстрочный – полуторный (1,5). Цвет шрифта – черный. Гарнитура шрифта основного текста – Times New Roman. Кегль (размер шрифта) – 14. Размеры полей страницы (не менее): правое – 30 мм, верхнее, нижнее и левое – 20 мм. Формат абзаца: полное выравнивание (по ширине). Отступ красной строки одинаковый по всему тексту, рекомендуется 1,25 см. Страницы должны быть пронумерованы с учётом титульного листа, который не обозначается цифрой. В работах могут использоваться цитаты, статистические материалы. Эти данные оформляются в виде сносок (ссылок и примечаний). Все сноски и подстрочные примечания располагаются на той же странице, к которой они относятся, нумерация сносок устанавливается заново на каждой странице. Размер шрифта для названия главы – 16 (полужирный), подзаголовка — 14 (полужирный). Точка в конце заголовка, располагаемого посередине листа, не ставится. Заголовки не подчёркиваются. Оглавление (содержание) должно быть помещено в начале работы, а список литературы в конце реферата.

**Эссе** – это средство, позволяющее оценить умение обучающегося письменно излагать суть поставленной проблемы, самостоятельно проводить анализ этой проблемы с использованием концепций и аналитического инструментария соответствующей дисциплины, делать выводы, обобщающие авторскую позицию по поставленной проблеме. При написании эссе аспирантам предстоит работать с высказываниями историков и современников о событиях и деятелях отечественной истории. Нужно выбрать одно, которое станет темой эссе. Задача –

сформулировать собственное отношение к данному утверждению и обосновать его аргументами. При выборе темы эссе аспирант должен исходить из того, что:

- ясно понимаете смысл высказывания (не обязательно полностью или даже частично быть согласным с автором, но необходимо понимать, что именно он утверждает);
  - можете выразить свое отношение к высказыванию (аргументированно согласиться с автором либо полностью или частично опровергнуть его высказывание);
  - располагаете конкретными знаниями (факты, статистические данные, примеры) по данной теме;
  - владеете терминами, необходимыми для грамотного изложения своей точки зрения.
- При написании работы аспиранту следует руководствоваться следующими критериями:
- обоснованность выбора темы (объяснение выбора темы и задач, которые ставит перед собой в своей работе участник) – 1 балл;
  - творческий характер восприятия темы, ее осмысления – 1 балл;
  - грамотность использования исторических фактов и терминов – 1 балл;
  - четкость и доказательность основных положений работы – 1 балл;
  - знание различных точек зрения по избранному вопросу – 1 балл.

**Конспектирование.** Конспект – это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:

План-конспект – это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.

Текстуальный конспект – это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.

Свободный конспект – это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.

Тематический конспект – составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу). Данный тип конспектирования рекомендуется при подготовке к вопросам семинарского занятия.

**Контрольная работа** является одной из форм самостоятельного изучения аспирантами программного материала по всем предметам. Её выполнение способствует расширению и углублению знаний, приобретению опыта работы со специальной литературой.

Контрольные работы обычно включают практические задания, тесты, задачи и т.п. Для выполнения контрольной работы аспиранту предлагается один из вариантов заданий, также он получает указания или рекомендации к выполнению контрольной работы в устном (консультация) или печатном (методическое пособие) виде. Сдача контрольной работы происходит в установленные преподавателем сроки.

## **6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

### **6.1. Образовательные технологии**

Интерактивная лекция, проблемное изложение, технология «Дебаты».

### **6.2. Информационные технологии**

Информационные технологии, используемые при реализации различных видов учебной и внеучебной работы:

- использование Интернета в учебном процессе (использование информационного сайта преподавателя (рассылка заданий, предоставление выполненных работ на проверку, ответы на вопросы, ознакомление учащихся с оценками и т.д.));
- использование электронных учебников и различных сайтов (например, электронные библиотеки, журналы и т.д.) как источников информации;
- использование электронной почты преподавателя;

- использование средств представления учебной информации (электронных учебных пособий и практикумов, применение новых технологий для проведения очных (традиционных) лекций и семинаров с использованием презентаций и т.д.);

- использование интегрированных образовательных сред, где главной составляющей являются не только применяемые технологии, но и содержательная часть, т.е. информационные ресурсы (доступ к мировым информационным ресурсам, на базе которых строится учебный процесс).

### 6.3. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

#### - Программное обеспечение

| Наименование программного обеспечения | Официальный сайт  |
|---------------------------------------|---|
| LAMMPS                                | <a href="http://lammps.sandia.gov/">http://lammps.sandia.gov/</a>   |
| QUANTUM ESPRESSO                      | <a href="https://www.quantum-espresso.org/">https://www.quantum-espresso.org/</a>   |
| XDS                                   | <a href="http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de">http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de</a>   |
| Autodock Vina                         | <a href="http://vina.scripps.edu">http://vina.scripps.edu</a>   |
| Pymol                                 | <a href="https://pymol.org">https://pymol.org</a>   |
| Nova PX                               | <a href="https://www.ntmdt-si.com/">https://www.ntmdt-si.com/</a>   |
| АнНа (Анализатор Наночастиц)          | <a href="https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii">https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniyawotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii</a> |

#### - Современные профессиональные базы данных, информационные справочные системы

|   |   |
|---|---|
| <b>РИНЦ</b>   | <a href="https://elibrgru.ru/orgs.asp">https://elibrgru.ru/orgs.asp</a>   |
| <b>Web of Science</b>   | <a href="http://apps.webofknowledge.com">http://apps.webofknowledge.com</a>   |
| <b>Scopus</b>   | <a href="https://www.scopus.com/home.uri">https://www.scopus.com/home.uri</a>   |
| <b>Google Scholar citations</b>   | <a href="https://scholar.google.ru">https://scholar.google.ru</a>   |
| <b>IOP</b><br>Institute of Physics  | <a href="https://www.io.or">https://www.io.or</a>   |
| <b>AIP</b><br>Материалы компании American Institute of Physics  | <a href="https://www.aip.org/">https://www.aip.org/</a>   |
| <b>CASC</b><br>Материалы издательства EBSCO Publishing, а именно база данных CASC   | <a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases</a> |
| <b>APS</b><br>Журналы Американского физического общества<br>база данных APS Online Journals                                 | <a href="https://www.aps.org/">https://www.aps.org/</a>   |
| <b>IEEE</b><br>Материалы компании The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, а именно база данных IEEE/IEL | <a href="http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp">http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp</a>   |
| <b>RSC</b><br>материалы Royal Society of Chemistry  | <a href="http://pubs.rsc.org/">http://pubs.rsc.org/</a>   |

|  |   |
|--|---|
| <b>Wiley</b><br>Материалы компании John Wiley & Sons Ltd.,<br>а именно база данных Wiley Journals  | <a href="http://onlinelibrary.wiley.com/">http://onlinelibrary.wiley.com/</a>   |
| <b>Inspec</b><br>Материалы издательства EBSCO Publishing, а<br>именно база данных INSPEC   | <a href="https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec">https://www.ebsco.com/e/ru-ru/products-and-services/research-databases/inspec</a>   |
| <b>ProQuest</b><br>Материалы компании PROQUEST LLC, а<br>именно база данных Proquest Dissertations and<br>Theses Global  | <a href="https://www.proquest.com/productsservices/pqdtglobal.html">https://www.proquest.com/productsservices/pqdtglobal.html</a>   |
| <b>SpringerNature</b><br>Зарубежные электронные ресурсы издательства, а именно:<br>Springer Journals<br>Springer Protocols<br>Springer Materials<br>Springer Reference<br>zbMATH<br>Nature Journals<br>Nano Database                                     | <a href="http://link.springer.com/">http://link.springer.com/</a><br><a href="http://www.springerprotocols.com/">http://www.springerprotocols.com/</a><br><a href="http://materials.springer.com/">http://materials.springer.com/</a><br><a href="http://link.springer.com/search?facet-contenttype=%22ReferenceWork%22">http://link.springer.com/search?facet-contenttype=%22ReferenceWork%22</a><br><a href="http://zbmath.org/">http://zbmath.org/</a><br><a href="http://npg.com/">http://npg.com/</a><br><a href="https://nano.nature.com">https://nano.nature.com</a> |
| <b>Elsevier B.V. Science Direct Complete Freedom Collection</b><br>зарубежные электронные ресурсы издательства Elsevier «Freedom Collection» и коллекция электронных книг «Freedom Collection eBook collection», размещенных на платформе Science Direct | <a href="https://www.elsevier.com/">https://www.elsevier.com/</a>   |
| <b>CCDC Cambridge Crystallographic Data Centre</b><br>зарубежные электронные ресурсы Кембриджского центра структурных данных.  | <a href="https://www.ccdc.cam.ac.uk/">https://www.ccdc.cam.ac.uk/</a>   |
| <b>Scifinder</b> База данных   | <a href="https://scifinder.cas.org">https://scifinder.cas.org</a>   |

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Паспорт фонда оценочных средств

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине «**Физическая кинетика**» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин и прохождением практик, а в процессе освоения дисциплины – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой тем.

**Соответствие разделов, тем дисциплины,  
результатов обучения по дисциплине и оценочных средств**

| <b>№<br/>п/п</b> | <b>Контролируемые темы<br/>дисциплины</b> | <b>Код контролируемой<br/>компетенции</b>    | <b>Наименование<br/>оценочного<br/>средства</b> |
|------------------|---|--|---|
| 1                | Теория флуктуаций                         | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1,<br>ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная ра-<br>бота №1, эссе, ре-<br>ферат. |
| 2                | Кинетика классических систем              | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1,<br>ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Тест №1, эссе, ре-<br>ферат.                    |
| 3                | Кинетика квантовых систем                 | УК-1, УК-3, УК-4, ОПК-1,<br>ПК-1, ПК-2, ПК-3 | Контрольная ра-<br>бота №2, эссе, ре-<br>ферат. |

**7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал  
оценивания**

**Таблица 6.**  
**Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний**

| <b>Шкала оце-<br/>нивания</b>   | <b>Критерии оценивания</b>   |
|---------------------------------|--|
| 5<br>«отлично»                  | демонстрирует глубокое знание теоретического материала, умение обосно-<br>ванно излагать свои мысли по обсуждаемым вопросам, способность полно,<br>правильно и аргументированно отвечать на вопросы, приводить примеры                 |
| 4<br>«хорошо»                   | демонстрирует знание теоретического материала, его последовательное из-<br>ложение, способность приводить примеры, допускает единичные ошибки,<br>исправляемые после замечания преподавателя   |
| 3<br>«удовлетвори-<br>тельно»   | демонстрирует неполное, фрагментарное знание теоретического материала,<br>требующее наводящих вопросов преподавателя, допускает существенные<br>ошибки в его изложении, затрудняется в приведении примеров и формули-<br>ровке выводов |
| 2<br>«неудовлетво-<br>рительно» | демонстрирует существенные пробелы в знании теоретического материала,<br>не способен его изложить и ответить на наводящие вопросы преподавателя,<br>не может привести примеры  |

**Таблица 7.**  
**Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений**

| <b>Шкала оце-<br/>нивания</b> | <b>Критерии оценивания</b>  |
|-------------------------------|---|
| 5<br>«отлично»                | демонстрирует способность применять знание теоретического материала при<br>выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет<br>обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы  |
| 4<br>«хорошо»                 | демонстрирует способность применять знание теоретического материала при<br>выполнении заданий, последовательно и правильно выполняет задания, умеет<br>обоснованно излагать свои мысли и делать необходимые выводы, допускает<br>единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя |
| 3                             | демонстрирует отдельные, несистематизированные навыки, не способен при-<br>менить знание теоретического материала при выполнении заданий,   |

|                            |  |
|----------------------------|--|
| «удовлетворительно»        | испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя, затрудняется в формулировке выводов |
| 2<br>«неудовлетворительно» | не способен правильно выполнить задание  |

### 7.3. Контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

#### Примерные вопросы к зачету:

1. Формула Эйнштейна для вероятности флуктуаций.
2. Гауссово распределение вероятности малых флуктуаций.
3. Флуктуации системы, помещенной в термостат.
4. Корреляция флуктуаций во времени. Теорема Винера-Хинчина.
5. Принцип симметрии кинетических коэффициентов (соотношения Онзагера).
6. Потоки и обобщенные силы. Теорема Онзагера.
7. Термомеханический эффект.
8. Кинетическое уравнение в приближении времени релаксации. Электронный газ в постоянном электрическом поле.
9. Кинетическое уравнение Больцмана. Принцип детального равновесия.
10. Теория броуновского движения. Уравнение Ланжевена. Приближение "белого шума".
11. Диффузия броуновских частиц. Формула Эйнштейна для коэффициента диффузии.
12. Основное кинетическое уравнение (уравнение баланса). H - теорема Больцмана
13. Квазиравновесное распределение.
14. Граничные условия и уравнение Лиувилля для неравновесного статистического оператора.
15. Интегральные уравнения и теория возмущений для неравновесного статистического оператора.
16. Обобщенные кинетические уравнения.

#### Тестовые задания

1. Закон Больцмана о равном распределении энергии по степеням свободы молекул для...

А) любой статистической системы на любую степень свободы приходится в среднем одинаковая энергия, равна  $kT/2$ ;

В) статистической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, на любую поступательную и вращательную степень свободы приходится в среднем одинаковая энергия, равна  $kT/2$

С) статистической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, только на поступательные степени свободы приходится в среднем одинаковая энергия, равна  $kT/2$ ;

Д) статистической системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, на любую степень свободы приходится в среднем одинаковая энергия, равна  $kT$ .

(Эталон: В)

2. Скорость прямолинейного движения материальной точки подчиняется закону  $v = 1 + 2t^2$ , м/с. кинематическое уравнение движения  $x(t)$  имеет вид:

А)  $x(t) = t + 2t^3 / 3$

В)  $x(t) = 2t + 2t^2$

- C)  $x(t) = 4t$
- D)  $x(t) = 1 + 2t^2$

(Эталон: A)

3. В состав внутренней энергии входит только:

- A) кинетическая энергия поступательного и вращательного движений атомов и молекул;
- B) энергия химической связи атомов в молекулах;
- C) кинетическая и потенциальная энергия электронов в атомах и внутриядерная энергия;
- D) среди ответов нет правильного.

(Эталон: D)

4. Нормальное ускорение направлено по...

- A) радиусу
- B) нормали к радиусу
- C) касательной к траектории
- D) траектории
- E) дуге

(Эталон: A)

5. Основным уравнением физической кинетики является уравнение...

- A) Ньютона
- B) Больцмана
- C) Максвелла
- D) Клаузиуса

(Эталон: B)

6. Термодинамическая вероятность состояния изолированной физической системы при всех происходящих в ней процессах...

- A) не может убывать
- B) не может возрастать
- C) остается неизменной
- D) обязательно возрастает
- E) обязательно убывает

(Эталон: A)

7. В состав внутренней энергии входит только:

- A) кинетическая энергия поступательного и вращательного движений атомов и молекул;
- B) энергия химической связи атомов в молекулах;
- C) кинетическая и потенциальная энергия электронов в атомах и внутриядерная энергия;
- D) среди ответов нет правильного.

(Эталон: D)

8. Положение материальной точки в заданной системе отчета задает..

- A) радиус-вектор
- B) энергия
- C) ускорение

- D) скорость
- E) масса

(Эталон: A)

9. Явление теплопроводности связано с переносом ..... энергии молекул.

- A) кинетической
- B) внутренней
- C) потенциальной
- D) полной

(Эталон: A, B)

10. Функцией распределения Больцмана называется:

- A) функция распределения молекул газа по координатам во внешнем силовом поле;
- B) функция распределения по скоростям молекул газа;
- C) функция распределения по энергиям некоторого числа частиц в поле силы тяжести;
- D) функция равномерного распределения энергии по степеням свободы.

(Эталон: A)

#### **7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

В ИФВД РАН действует балльно-рейтинговая система оценки учебных достижений аспирантов (БАРС). Успешность изучения каждого учебного курса в течение семестра оценивается, исходя из 100 максимальных возможных баллов. По дисциплине, итоговой формой отчетности для которой является экзамен, балльная оценка распределяется на две составляющие: семестровую (текущий контроль по учебной дисциплине в течение семестра) – 50 баллов, и экзаменационную – 50 баллов. В итоге суммарный рейтинговый балл освоения учебного курса за семестр на экзамене переводится в 4-балльную оценку, которая считается итоговой по учебному курсу в течение семестра и заносится в зачетную книжку аспиранта.

Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по учебному курсу

| Сумма баллов по дисциплине | Оценка по 4- балльной шкале              |
|----------------------------|--|
| 90-100                     | 5 (отлично), (зачтено)                   |
| 85- 89                     | 4 (хорошо), (зачтено)                    |
| 75- 84                     |  |
| 70-74                      |  |
| 65-69                      | 3 (удовлетворительно),<br>(зачтено)      |
| 60-64                      |  |
| Ниже 60 баллов             | 2 (неудовлетворительно),<br>(не зачтено) |

Преподаватель, реализующий дисциплину, в зависимости от уровня подготовленности обучающихся может использовать иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

#### **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### а) Основная литература:

1. Общий курс физики, Т. 2. Термодинамика и молекулярная физика, Сивухин, Дмитрий Васильевич, 2016 г. <http://vina.scripps.edu>
2. Термодинамика и статистическая физика, Аминов, Линар Кашифович, 2018 г.
3. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. - изд. Лань. – 2017 г. – 448 с.
4. Ландау Л.Д. Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т.Х. Физическая кинетика. М.: Физматлит, 2019г. - 536 с. <http://www.jemssaas.ch/Home/jemsWebSite/jems.html>
5. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.

#### б) Дополнительная литература:

1. Кондратьев А.С., Райгородский П.А. Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории, М.: Физматлит. 2017. - 254 с.
2. Ландау, Л.Д. Статистическая физика: Учеб.пособие для аспирантов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; под ред. Л. П. Питаевского.-М.: Физматлит, Б.г.- (Теоретическая физика; Т.5). Ч.1.-5-е изд., стереотип. - 2019. - 616 с. <http://vina.scripps.edu>
3. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. 2-е изд. М.: Наука, 2017. - 553 с.
4. Климонтович Ю.Л. Статистическая физика. М.: Наука, 2018. - 608 с. <https://pymol.org>
5. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смодинского. Изд. 10-е. — М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 256 с.
6. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 14: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 280 с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ. Под ред. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2020. — 272 с.

#### в) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимый для освоения дисциплины

| Наименование программного обеспечения | Официальный сайт  |
|---------------------------------------|---|
| LAMMPS                                | <a href="http://lammps.sandia.gov/">http://lammps.sandia.gov/</a>   |
| QUANTUM ESPRESSO                      | <a href="https://www.quantum-espresso.org/">https://www.quantum-espresso.org/</a>   |
| XDS                                   | <a href="http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de">http://xds.mpimf-heidelberg.mpg.de</a>   |
| Autodock Vina                         | <a href="http://vina.scripps.edu">http://vina.scripps.edu</a>   |
| Pymol                                 | <a href="https://pymol.org">https://pymol.org</a>   |
| Nova PX                               | <a href="https://www.ntmtd-si.com/">https://www.ntmtd-si.com/</a>   |
| АнНа (Анализатор Наночастиц)          | <a href="https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniywotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii">https://crys.ras.ru/strukturainstituta/nauchnye-podrazdeleniywotdelelektronnoj-kristallografii/laboratoriyaelektronografii</a> |

## 9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Необходимое оборудование для лекций и практических занятий:

При выполнении лабораторных работ используются компьютеры с характеристиками не ниже Pentium 4 - 3Гц/512Мб/80ГБ с 17-дюймовыми мониторами, объединенные в локальную сеть, подключенную через сеть ИФВД РАН к Интернету. Для получения необходимой

информации используются Web-ресурсы сети Интернет и локальная библиотека электронных материалов.

Залы, оснащенные компьютером с проектором, обычной доской - для проведения семинаров, лекционных и практических занятий.

### **Перечень оборудования:**

1. Гидравлические прессы усилием 5000 и 10000 тонн с камерами «Тороид-10», «Тороид-15», «Тороид-35» для синтеза при высоких температурах и давлениях
2. Установка для высокотемпературной газовой экструзии при высоком газовом давлении до 0.5 ГПа
3. Установка для измерения микро-рамановских и микро-фотолюминесцентных спектров со сверхвысоким разрешением
4. Специализированный спектрометр VUKAP
5. Спектрометр высокоточный с эффективными четырьмя сцинтилляционными детекторами с кристаллом LaBr<sub>3</sub>(Ce) с фотоэлектронными умножителями Hamamatsu R13089
6. Измерительная система физических свойств (PPMS), которая позволяет проводить измерения электросопротивления и теплоемкости веществ в области температур от 2 до 400 K
7. Инфракрасный спектрометр «BRUKER»
8. Сканирующий электронный микроскоп JEOL JSM-6390LV с энергодисперсионной приставкой для микроанализа INCA 250 (Oxford Instruments)
9. Рентгеновские дифрактометры DRON-2.0
10. Рентгеновская Гинье камера (Imaging Plate Guinier Camera G670, Huber, Germany)
11. Рентгеновский дифрактометр на базе Imaging Plate MAR345
12. 96-ядерный вычислительный кластер "Азбука"
13. Муфельная печь для спекания деталей ячеек высокого давления при температурах до 1800 °С
14. Шаровая мельница
15. Аналитические весы GR-200
16. Аналитические весы AL 304-IC
17. Функциональный генератор Tektronix AFG 3251
18. Осциллограф Agilent Technologies