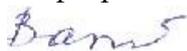


ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено
на заседании кафедры
теоретической физики
протокол № 4 от «12» января 2022 г.
Зав. кафедрой



Вахитов Р.М.

Согласовано: Председатель
УМК физико - технического
института



(Балапанов М.Х.)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Статистическая физика и термодинамика

Б1.В.11.03

Направление подготовки (Специальность)
Программа бакалавриата

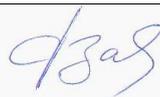
Направление подготовки (специальность)
28.03.03 Наноматериалы

Направленность (профиль) подготовки / Специализация
Объемные наноструктурные материалы

Квалификация
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Разработчик (составитель):
к.ф.-м.н., доц. Закирьянов Ф.К.



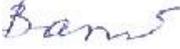
/ Закирьянов Ф.К.

Для приема: 2022 г.

Уфа 2022 г.

Составитель: Закирьянов Ф.К.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики, протокол № 4 от «12» января 2022 г.

Заведующий кафедрой  Вахитов Р.М.

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
 - 4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.
 - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования.

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.1. Знать математические аппараты для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	Знать границы применимости изученных законов и методов классической и квантовой термодинамики и статистической физики
		ОПК-1.2. Уметь использовать физические законы принципы в своей профессиональной деятельности, экспериментальные методы определения физико-химических свойств неорганических и органических веществ. Уметь проводить измерения основных электрических величин, определяет параметры и характеристик электрических и электронных устройств	Применять методы термодинамики и статистической физики к решению прикладных задач
		ОПК-1.3. Владеть прикладными программами и средства автоматизированного проектирования при решении инженерных задач	Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы)

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Статистическая физика и термодинамика.» относится к базовой части.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 семестре.

Цели изучения дисциплины: Основной целью курса «Статистическая физика и термодинамика» является изучение основных законов термодинамики равновесных процессов, термодинамических свойств макроскопических систем, основных экспериментальных закономерностей, лежащих в основе законов термодинамики, статистических методов описания классических и квантовых макроскопических систем, связи законов термодинамики и статистических методов описания, а также формирование у студентов знаний и умений, позволяющих моделировать термодинамические явления и проводить численные расчеты соответствующих физических величин. Именно в курсе «Статистическая физика и термодинамика» студенты должны овладеть основами статистических расчетов и научиться применять их для решения задач по различным разделам курса и теоретической физики вообще

Особенностью дисциплины «Статистическая физика и термодинамика» в курсе теоретической физики является то, что это четвертый раздел теоретической физики, изучаемый студентами после поступления в вуз. Еще одной особенностью курса является объем и разнообразие изучаемого материала. С указанным разделом по количеству тем можно сравнить только квантовую теорию. Поэтому часть материала (до 15%) рекомендуется для самостоятельного изучения. Это требует развития у студентов навыков самостоятельного изучения литературы, в т.ч. электронной, а также использования интернет-ресурсов. Использование справочников и интернета необходимо и для формирования элементарной математической культуры. В частности, студентам рекомендуется сайт «математические уравнения» (<http://eqworld.ipmnet.ru>), который можно использовать как для ликвидации пробелов в школьном мате-

математическом образовании, так и для освоения новых разделов (например, дифференциальные уравнения, уравнения математической физики).

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Цикл	Дисциплина
Б1.О.12	Модуль «Физика»
Б1.О.21	Методы математической физики
Б1.В.11.01	Теоретическая механика. Механика сплошных сред.
Б1.В.11.02	Электродинамика
Б1.В.11.04	Квантовая теория

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Код и формулировка компетенции:

ОПК-1. Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
ОПК-1.1. Знать математические аппараты для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	Знать границы применимости изученных законов и методов классической и квантовой термодинамики и статистической физики	Практически не знает	Знает
ОПК-1.2. Уметь использовать физические законы принципы в своей профессиональной деятельности, экспериментальные методы определения физико-химических свойств неорганических и органических веществ. Уметь проводить измерения основных электрических величин, определяет параметры и характеристик электрических и электронных устройств	Применять методы термодинамики и статистической физики к решению прикладных задач	Практически не умеет	Умеет
ОПК-1.3. Владеть прикладными программами и средствами автоматизированного проектирования при решении инженерных задач	Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы)	Практически не владеет	Владеет

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Контролируемые действия по проверке знаний, умений и владений (Оценочные средства)
ОПК-1.1. Знать математические аппараты для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности	Знать границы применимости изученных законов и методов классической и квантовой термодинамики и статистической физики	Приём домашних работ
ОПК-1.2. Уметь использовать физические законы принципы в своей профессиональной деятельности, экспериментальные методы определения физико-химических свойств неорганических и органических веществ. Уметь проводить измерения основных электрических величин, определяет параметры и характеристик электрических и электронных устройств	Применять методы термодинамики и статистической физики к решению прикладных задач	Приём домашних работ
ОПК-1.3. Владеть прикладными программами и средствами автоматизированного проектирования при решении инженерных задач	Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы)	Контрольная работа

Для контроля освоения компетенций при изучении дисциплины применяется балльно-рейтинговая система.

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания при *модульно-рейтинговой системе* являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (*для зачета*: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),
не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов.

Рейтинг-план дисциплины

Статистическая физика и термодинамика

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление «Наноматериалы»

курс 4, семестр 7

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1 – 30 баллов				
Основные положения				
Текущий контроль			0	20
1. Выполнение индивидуальных домашних заданий	5	3	0	15
2. Работа на лекционных занятиях	1	5	0	5
Рубежный контроль			0	10
1. Контрольная работа	10	1	0	10
Модуль 2 – 40 баллов				
Квантовая статистика систем тождественных частиц.				
Текущий контроль			0	20
1. Выполнение индивидуальных домашних заданий	5	3	0	15
2. Работа на лекционных занятиях	1	5	0	5
Рубежный контроль			0	20
1. Контрольная работа	20	1	0	20
Итоговый контроль				
1. Экзамен			0	30
Посещаемость				
1. Посещение лекционных занятий			-6	0
2. Посещение практических занятий			-10	0
Поощрительные баллы			0	10
ИТОГО				110

Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу

7 семестр

1. Фазовое пространство, статистический ансамбль, функция распределения по состояниям в фазовом пространстве. Понятия подсистемы, статистической независимости, радиуса корреляции. Средне-квадратичные флуктуации аддитивных величин. Полное и неполное описание.
2. Теорема Лиувилля. Уравнение Лиувилля для функции распределения. Эволюция физических величин.
3. Статистическое распределение для квантовых систем. Чистое и смешанное состояния. Статистический оператор (матрица плотности). Уравнение Неймана (квантовое уравнение Лиувилля) для эволюции матрицы плотности. Полное и неполное описание в квантовой статистике. Правила соответствия квантовой и классической статистик
4. Энтропия квантовых и классических систем. Экстремальный энтропийный принцип. Равновесные и квазиравновесные распределения.
5. Микроканоническое распределение, статистический вес и температура. Эргодическая гипотеза. Каноническое распределение, статистическая сумма и свободная энергия.
6. Большое каноническое распределение, большой термодинамический потенциал, большая статистическая сумма и химический потенциал. Изотермоизобарический ансамбль, термодинамический потенциал, давление.

7. Эквивалентность статистических ансамблей. Вывод канонического распределения из микроканонического (теорема Гиббса о каноническом распределении). Основное термодинамическое соотношение в статистической физике. Естественные переменные
8. основных термодинамических потенциалов. Теорема о малых добавках. Зависимость термодинамических величин от чисел частиц. Соотношение Гиббса-Дюгема.
9. Работа и количество тепла. Первое начало термодинамики. Второе начало термодинамики. Неравенство Клаузиуса. Проблема необратимости. Закон возрастания энтропии. Минимальная работа, производимая над телом, находящимся во внешней среде.
10. Максимальная работа, совершаемая системой тел, цикл Карно. Термодинамические неравенства. Третье начало термодинамики. Теорема Нернста.
11. Фазы вещества, фазовое равновесие, правило фаз Гиббса, формула Клапейрона-Клаузиуса. Образование зародышей новой фазы.
12. Распределение по импульсам и координатам. Распределение Максвелла. Идеальный газ, распределение Больцмана. Свободная энергия и уравнение состояния больцмановского идеального газа. Идеальный газ с постоянной теплоемкостью. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ. Химический потенциал одноатомного идеального газа. Двухатомный газ: вращения и колебания молекул.
13. Распределение Ферми. Распределение Бозе. Термодинамика Ферми- и Бозе-газа. Вырожденный электронный газ. Вырожденный Бозе-газ. Конденсация Бозе-Эйнштейна.
14. Черное излучение. Распределение Планка. Термодинамика черного излучения.

Тематика задач

1. Фазовое пространство, фазовые портреты. Теорема Лиувилля.
2. Распределение Гиббса.
3. Распределение Максвелла по абсолютным величинам скоростей, по векторам скорости, по модулю скорости.
4. Распределение Максвелла по абсолютным величинам импульсов, по векторам импульса, по модулю импульса.
5. Распределение Максвелла по энергии.
6. Распределение Больцмана
7. Идеальный газ. Числа заполнения, распределение Больцмана. Метод максимума энтропии
8. Распределения Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна.
9. Намагниченность спинов, модель Изинга и поляризация диэлектриков, восприимчивость среды.
10. Квазисредние.
11. Флуктуации физических величин.

Типовые задачи, предлагаемые на семинарских занятиях и контрольных

1. Имеется одномерная цепочка, которая состоит из N штук линейных гармонических осцилляторов с известной циклической частотой ω_0 . Пусть энергия их взаимодействия между собой пренебрежимо мала. Считаем, что температура системы T . Найти характеристическую температуру T_0 . В случае когда $T \ll T_0$ найти статистическую сумму, свободную энергию, внутреннюю энергию и теплоемкость.
2. Пользуясь распределением Максвелла найти среднее значение $\frac{1}{v}$, $\frac{1}{v^3}$, а также среднеквадратичного отклонения скорости для идеального газа. Считать, что газ поддерживается при температуре T и масса каждого атома (молекулы) равна m . Газ считать трехатомным.
3. Найти энтропию неравновесного Бозе-газа.
4. Найти энтропию неравновесного Ферми-газа.
5. Найти среднее значение величины $\exp(\alpha_{ij}x_i x_j)$. Считаем, что α_{ij} - известный ряд постоянных параметров, x_i - ряд флуктуирующих параметров. Использовать при решении распределение флук-

туации нескольких величин: $w = \frac{\sqrt{\beta}}{(2\pi)^{n/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \beta_{ij} x_i x_j\right)$.

Критерии оценки (в баллах) за одну домашнюю работу:

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	5 баллов
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько недостатков	3 балла
Нет правильного ответа	0 баллов

Критерии оценки одной задачи из двух контрольной работы №1 или №2 (в баллах):

- **10 баллов** выставляется студенту, если задача решена абсолютно правильно, без недочетов и ошибок;
 - **8 баллов** выставляется студенту, если задача решена правильно, но в ней есть один недочет или незначительная ошибка (в математических преобразованиях);
 - **6 баллов** выставляется студенту, если есть попытка решить задачу, присутствуют все необходимые законы (формулы), но имеется грубая ошибка в законе, или решение задачи не доведено до конца;
 - **4 балла** выставляется студенту, если присутствуют все необходимые законы (формулы), чтобы решить задачу, но само решение на начато, или имеются две грубые ошибки в законах;
 - **2 балла** выставляется студенту, если записан правильно хотя бы один необходимый закон для решения задачи;
 - **0 баллов** выставляется студенту, если отсутствует решение задачи;
- Набранные баллы по двум задачам контрольной работы затем суммируются.

**Контрольная работа
«Статистическая физика и термодинамика»**

1. Имеется одномерная цепочка, которая состоит из N штук линейных гармонических осцилляторов с известной циклической частотой ω_0 . Пусть энергия их взаимодействия между собой пренебрежимо мала. Считаем, что температура системы T . Найти характеристическую температуру T_0 . В случае, когда $T \gg T_0$ найти статистическую сумму, свободную энергию, внутреннюю энергию и теплоемкость.
2. Пользуясь распределением Максвелла найти среднее значение энергии для идеального газа и наиболее вероятное значение энергии. Считать, что газ поддерживается при температуре T и масса каждого атома (молекулы) равна m .

Поощрительные баллы выставляются за дополнительные выходы к доске на практических занятиях

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. И.А. Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Т.1: Теория равновесных систем: Статистическая физика. Учебное пособие Изд. 2-е – М.: КомКнига, 2010. -244 с. [В библиотечном фонде БашГУ имеется 45 экз.]
2. И.А. Квасников. Термодинамика и статистическая физика. Т.1: Теория равновесных систем: Термодинамика. Учебное пособие Изд. 2-е – М.: КомКнига, 2010. -262 с. [В библиотечном фонде БашГУ имеется 65 экз.]
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.5: Статистическая физика. – 8.изд., стереотип. – 2001.– 524с. [В библиотечном фонде БашГУ имеется 63 экз.]
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика. Т.8: Электродинамика сплошных сред. – изд. третье, стереотип. – 2001.– 656с. [В библиотечном фонде БашГУ имеется 52 экз.]

Дополнительная литература:

1. Гиббс Дж. В. «Основные принципы статистической механики» М. — Л., 1946. (Изд-во: Регулярная и хаотическая динамика, 2002. — 204 с. – Неогранич. Доступ. ISBN 5-93972-127-3)

2. Боголюбов Н. Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. — М.— Л.: ОГИЗ. Гостехиздат, 1946. [В библиот. БашГУ имеется 75 экз.]
3. Боголюбов Н. Н. Избранные труды по статистической физике. М.: Изд-во МГУ, 1979. (электронный ресурс: <https://e.lanbook.com/book/100>).
4. Дж. Джексон. Классическая электродинамика. — М.: Мир, 1965.— 704с. <https://e.lanbook.com/book/544>
5. Е.С. Боровик, В.В. Еременко, А.С. Мильнер. Лекции по магнетизму. — М.: Физматлит, 2005 .— 512 с. [В библиот. БашГУ имеется 85 экз.].

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС издательства Лань <https://e.lanbook.com/>
2. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
3. Российский портал «Открытого образования» <https://openedu.ru/>
4. Мир математических уравнений <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/mathematics/pde.htm>

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
Аудитория 02	Лекции	Мультимедийный проектор, экран, доска.
Аудитория 224	Практические занятия	Доска, мел, сборники задач, калькулятор

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Статистическая физика и термодинамика» на 7 семестре
(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (з.е. / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	72,7
лекций	36
практических/ семинарских	36
лабораторных	
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,7
из них, предусмотренные на выполнение курсовой работы / курсового проекта	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	35,3
из них, предусмотренные на выполнение курсовой работы / курсового проекта	
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	

Форма(ы) контроля:
Зачет: 7 семестр

7 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР		
1	2	3	4	5	6	8	9
	Модуль 1: Классическая термодинамика						
1.	Математические основы и введение в термодинамику.	6	6		5	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
2.	Основные законы и уравнения термодинамики.	6	6		6	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
3.	Первое начало термодинамики	6	6		7	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
	Модуль 2: Второе начало термодинамики						
4.	Общая характеристика и исходная формулировка	6	6		4,3	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
5.	Основное уравнение термодинамики для равновесных процессов	6	6		6	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
6.	Второе начало термодинамики для неравновесных процессов	6	6		7	Выполнение домашнего задания	Приём домашних работ. Контрольная работа
	Всего часов:	36	36		35,3		

