

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 12:50:54  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Термодинамика и статистическая физика**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Самсонов В.М.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** освоения дисциплины является овладение основными методами и подходами термодинамики и статистической физики.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

изучение основ термодинамики и статистической физики;

приобретение навыков применения основных знаний в области термодинамики и статистической физики для решения стандартных задач;

приобретение навыков применения методов термодинамики и статистической физики к решению задач физики конденсированного состояния, включая описание таких систем, как электронный и фононный газы.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Термодинамика и статистическая физика» изучается в модуле Теоретическая физика Блока 1. Дисциплины обязательной части учебного плана ООП.

Для успешного освоения дисциплины обучающиеся должны изучить курсы «Математический анализ», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Дифференциальные уравнения», «Молекулярная физика». Профессиональные компетенции, формируемые при освоении дисциплины необходимы для успешного прохождения производственной и преддипломной практик, а также подготовки выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 8 зачетных единиц, 288 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 56 часов, практические занятия 56 часа;

**самостоятельная работа:** 176 часа, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
<p>УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач</p>	<p>УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;                      УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи;                      УК-1.5. Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки.</p>
<p>ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности.</p>	<p>ОПК-1.1. Анализирует физические объекты и процессы с применением базовых знаний в области физико-математических наук;                      ОПК-1.2. Применяет знания в области физико-математических наук при решении практических задач в сфере профессиональной деятельности.</p>
<p>ОПК-2. Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.</p>	<p>ОПК-2.2. Решает теоретические задачи и проводит моделирование физических объектов, систем и процессов в рамках научного исследования.</p>

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Зачет в 7 семестре, экзамен в 8 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Наименование разделов и тем	Всего	Контактная работа		Само-стоят. работа студ-в
		Лек-ции	Практич. работы	
<b>Введение.</b> Предмет и методы термодинамики и статистической физики. Макроскопические системы различной природы. История развития термодинамики и статистической физики.	3	1	1	1
<b>Основы термодинамики.</b> Основные понятия термодинамики: термодинамическая система, параметры состояния, термодинамическое равновесие. Температура.	6	2	2	2
Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость. Применение первого закона к идеальным системам: идеальному газу и фотонному газу. Понятие о сложных термодинамических системах.	6	2	2	2
Второй закон термодинамики. Энтропийная формулировка 2-го закона. Поток и производство энтропии.	6	2	2	2
Третий закон термодинамики. «Нулевой» закон и его роль.	6	2	2	2
Математический аппарат термодинамики: метод однородных функций Эйлера, дифференциальные формы Пфаффа, метод якобианов преобразования.	6	2	2	2
Метод характеристических функций. Термодинамика открытых систем. Химический потенциал.	5	2	2	1
Термодинамическая фаза. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Условия равновесия гетерогенной системы, состоящей из 2-х гомогенных фаз. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.	5	2	2	1
Теория Ландау фазовых переходов 2-го рода.	5	2	2	1
Понятие о теории зарождения новой фазы. Работа нуклеации. Критический зародыш по Гиббсу.	5	2	2	1
<b>Введение в статистическую физику.</b> Метод статистической физики. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.	3	1	1	1
Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.	5	2	2	1
<b>Статистическая теория идеальных систем</b> Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.	3	1	1	1
Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы.	5	2	2	1
Теория теплоемкости идеального газа.	5	2	2	1
Статистика Бозе-Эйнштейна.	5	2	2	1
Статистика Ферми-Дирака.	5	2	2	1

Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Сравнение статистики.	5	2	2	1
Применение статистики Бозе к фотонному газу.	5	2	2	1
Квантовая теория теплоемкости твердого тела.	5	2	2	1
Вырожденный Ферми-газ.	5	2	2	1
<b>Системы взаимодействующих частиц.</b> Формула Больцмана для энтропии. Статистический вес макроскопического состояния.	3	1	1	1
Метод Гиббса. Каноническое и микроканоническое распределение Гиббса для квантового и классического случаев.	5	2	2	1
Распределение Максвелла-Больцмана как частный случай распределения Гиббса.	5	2	2	1
Статистический и конфигурационный интегралы. Теория идеального газа. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.	5	2	2	1
<b>Введение в неравновесную термодинамику и физическую кинетику.</b> Основные принципы неравновесной термодинамики: принцип линейности, принцип симметрии кинетических коэффициентов, принцип Кюри. Понятие о нелинейной термодинамике и синергетике.	3	1	1	1
Броуновское движение. Марковские процессы. Уравнение Фоккера-Планка и его простейшие приложения.	5	2	2	1
Кинетическое уравнение Больцмана, H-теорема. Кинетическое уравнение с релаксационным членом и его простейшие приложения.	5	2	2	1
<b>7. Статистическая физика конденсированного состояния.</b> Статистика фононного и электронного газов. Состояние электронов в кристаллической решетке.	3	1	1	1
Статистика носителей заряда. Неравновесные электроны и дырки. Рассеяния носителей заряда, проводимость, и кинетические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Квазичастицы. Акустические и оптические фононы, плазмоны, экситоны Френкеля и Ванье. Конденсация бозонов. Сверхтекучесть. Электрон-фононные взаимодействия.	3	1	1	1
Полярон Фрелиха. Взаимодействие света с кристаллической решеткой, поляритоны. Оптические свойства диэлектриков, металлов и полупроводников. Поверхностные состояния электронов. Состояния электронов в структурах с пониженной размерностью.	3	1	1	1
<b>ЭКЗАМЕН</b>	<b>36</b>			<b>36</b>
<b>Итого</b>	<b>180</b>	<b>54</b>	<b>54</b>	<b>72</b>

### Ш. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

- Текущий контроль успеваемости
- Промежуточная аттестация

### IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**Форма проведения зачета/экзамена:** студенты, освоившие программу курса могут получить зачет или оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то зачет или экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 1:** способностью использовать в профессиональной деятельности базовые естественнонаучные знания, включая знания о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук (прежде всего химии, биологии, экологии, наук о земле и человеке).

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
		Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)	Средний уровень (2 балла по каждому критерию)	Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>			
	Вывести соотношение, связывающее изменение температуры $\Delta T$ при эффекте Джоуля-Томсона с параметрами газа	Понимает физику эффекта, записывает выражения для $\Delta T$ ,	Понимает физику эффекта, но не может доказать,	Записывает основные соотношения, но не может пояснить их

		отвечающие различным моделям газа.	что $\Delta T \leq 0$ .	физический смысл.
	Получив термодинамические соотношения для $\Delta T$ , оценить величину $\Delta T$ для идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса.	Адекватно оценивает $\Delta T$ для различных моделей газа	Оценивает $\Delta T$ , допуская при этом некоторые ошибки.	Объясняет, почему для идеального газа $\Delta T = 0$ , но не может оценить $\Delta T$ для газа Ван-дер-Ваальса
	<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Вывести уравнение состояния полностью вырожденного газа Ферми и выражение для внутренней энергии газа Ферми	Выводит уравнение состояния полностью вырожденного газа и объясняет его принципиальные отличия от уравнения состояния классического идеального газа	Выводит уравнение состояния, но не до конца понимает физические различия между моделями полностью вырожденного газа Ферми и классического идеального газа	Выводит уравнение состояния полностью вырожденного газа Ферми, но не может сформулировать его отличия от уравнения состояния классического идеального газа
	Объяснить, почему теплоемкость кристаллов подчиняется в первом приближении закону Дюлонга и Пти, не учитывающему электронного вклада в теплоемкость	Уверенно объясняет, почему не проявляется электронный вклад в теплоемкость	Дает формальное объяснение, но не до конца понимает особенности и модели полностью вырожденного электронного газа	Формулирует закон Дюлонга и Пти, но не может объяснить его природу

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК 3: способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
	<i>Задания для проверки сформированности умений:</i>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Воспользовавшись каноническим распределением Гиббса, вывести уравнение состояния идеального газа	Понимает суть метода ансамблей Гиббса, уверенно применяет его к выводу уравнения состояния идеального газа	Выводит уравнение состояния идеального газа после ряда наводящих вопросов	Формально знает каноническое распределение Гиббса, но не умеет уверенно использовать его для конкретных оценок
	Показать, что распределение Максвелла-Больцмана можно получить из канонического распределения Гиббса	Уверенно выводит распределение Максвелла-Больцмана	Понимает идею вывода распределения Максвелла-Больцмана, но допускает ошибки при выводе	Знает вид распределения Максвелла-Больцмана, но не может обосновать его теоретически.
	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Обосновать, что метод Максвелла-Больцмана является частным случаем метода Гиббса.	Уверенно обосновывает, что метод	Обосновывает, что метод Максвелла-	Обосновывает на качественно м уровне, но



		Максвелла-Больцмана является частным случаем метода Гиббса.	Больцмана является частным случаем метода Гиббса, но допускает некоторые ошибки.	не может обосновать количественно.
	При каких условиях распределения Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака переходят в классическое распределение Максвелла-Больцмана?	Уверенно и обосновано отвечает на вопрос	Отвечает на вопрос, допуская ошибки	Знает классическое и квантовые распределения, но не понимает взаимосвязь между ними.

## **V Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Новиков, И. И. Термодинамика : учебное пособие / И. И. Новиков. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 592 с. — ISBN 978-5-8114-0987-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167768>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-0756-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167726>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.

### **б) Дополнительная литература:**

1. Московский, С. Б. Курс статистической физики и термодинамики : учебник / С. Б. Московский. — Москва : Академический Проект, 2020. — 320 с. — ISBN 978-5-8291-3047-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/133213>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Савельев И.В. Курс общей физики. В 5-и тт. Том 3. Молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. —

Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 224 с. — Режим доступа:  
<https://e.lanbook.com/book/706>.

3. Захаров А.Ю. Функциональные методы в классической статистической физике. Великий Новгород: НовГУ, 2006. 53 с. (<https://www.novsu.ru/file/10567>);
4. Захаров А.Ю. Решёточные модели статистической физики. Великий Новгород: НовГУ, 2006. 74 с. (<https://www.novsu.ru/file/10568>).

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Перечень программного обеспечения учебным планом не предусмотрено, за исключением программного обеспечения для доступа в Интернет.

### **Перечень имеющихся фильмов и презентаций:**

1. Ячейки Беннара (учебный фильм) <http://www.youtube.com/watch?v=FRFqoH1Tv-g>;
2. Диффузия и ее применение (учебный фильм)  
<http://rutube.ru/video/01c1b9358e696f998e466640660591a0/>;
3. Различное понимание самоорганизации и самосборки в неравновесной термодинамике и супрамолекулярной химии (презентация на кафедре теоретической физики ТвГУ);
4. Нанонаука и нанотехнология (презентация на кафедре теоретической физики ТвГУ).

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### **1. Текущий контроль успеваемости**

#### **ОПК-1**

#### **Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:**

1. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость.
2. Энтропийная формулировка 2-го закона термодинамики для изолированной и открытой системы.
3. «Нулевой» и третий законы термодинамики.
4. Характеристические функции закрытой термодинамической системы:
  - внутренняя энергия;
  - энтальпия;
  - энергия Гельмгольца;
  - Энергия Гиббса.
5. Характеристические функции открытой термодинамической системы. Химический потенциал.

6. Термодинамическая фаза. Фазовые переходы 1-го и 2-го рода (классификация по Эренфесту).
7. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
8. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.
9. Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.
10. Формула Больцмана для энтропии. Статистический вес макроскопического состояния.
11. Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.
12. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы.

### **Задачи для проверки умений при освоении дисциплины**

Задачи из учебника [1] (основная литература): 1.1-1.16; 2.1-2.14; 5.3-5.13; 6.1-6.15; 12.1-12.14

### **ОПК-3**

#### **Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:**

1. Метод Гиббса. Каноническое и микроканоническое распределения Гиббса для квантового и классического случаев.
2. Большое каноническое распределение Гиббса. Большая статистическая сумма.
3. Теория теплоемкости идеального газа.
4. Статистика Бозе-Эйнштейна.
5. Статистика Ферми-Дирака.
6. Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Сравнение статистик.
7. Вырожденный Ферми-газ.

#### **Задачи для проверки умений при освоении дисциплины**

1. Для идеального газа  $pV = \theta, c_v = const$  получить уравнение адиабаты  $p = p(V)$ .
2. Показать, что для идеального газа  $pV = \theta$  удельная теплоемкость  $c_p = c_v + R$ .
3. Определить КПД тепловой машины, работающей по циклу, состоящему из двух изотерм  $\theta = \theta_1, \theta = \theta_2$  пересеченных двумя адиабатами.
4. Показать, что КПД теплового двигателя не может превысить КПД цикла Карно, работающего в том же диапазоне температур.
5. Для идеального газа  $pV = \theta, c_v = const$ , получить барометрическое распределение плотности в поле силы тяжести  $U(z) = mgz$ .

6. Исходя из условия равновесия жидкости и газа  $\mu_{gas}(\theta, p) = \mu_{liq}(\theta, p)$ , получить выражение для температурного градиента  $\frac{dp}{d\theta}$  давления насыщенного пара.
7. Полагая, что давление равновесного электромагнитного излучения  $p$  равно трети плотности его энергии  $u = \frac{\varepsilon}{V}$ , получить температурную зависимость  $u = u(\theta)$ .
8. Считая  $dS = \frac{1}{\theta}(d\varepsilon + pdV)$  полным дифференциалом в переменных  $(\theta, V)$ , выразить величину  $\left[\frac{\partial \varepsilon}{\partial V}\right]_{\theta}$  через уравнение состояния  $p = p(\theta, V)$ .
9. Показать, что если теплоемкость  $c_v \sim \theta^a$ , то энтропия системы имеет тот же характер зависимости от температуры.
10. Указать условия, при которых равновесное состояние системы соответствует максимальному значению энтропии.
11. Указать условия, при которых равновесное состояние системы соответствует минимальному значению свободной энергии.
12. Показать, что для равновесной классической нерелятивистской системы средняя кинетическая энергия частиц равна  $\frac{3}{2}\theta$ .
13. Определить среднее число частиц идеального классического газа, падающих за секунду на  $1 \text{ см}^2$  стенки.
14. Для вырожденного  $\theta = 0$  идеального Ферми-газа определить граничные значения импульса и энергии частиц.
15. Определить среднюю энергию гармонических колебаний, происходящих в равновесных статистических системах.
16. Для системы с фиксированным числом частиц получить оценку для дисперсии температуры  $\overline{(\Delta\theta)^2}$  при условии  $V = const$ ,  $p = const$ .
17. Для равновесной системы, находящейся в выделенной воображаемыми стенками области определить дисперсию числа частиц в системе  $\overline{(\Delta N)^2}$ , выразив ее через уравнение состояния  $p = p(\theta, V)$ .
18. Рассчитать теплоемкость идеального газа в процессе  $\frac{p}{V} = const$ .
19. Установить связь критических параметров с постоянными  $a, b$  уравнения состояния системы Ван-дер-Ваальса  $(p + \frac{a}{V^2})(V - b) = RT$ .

## 2. Промежуточная аттестация

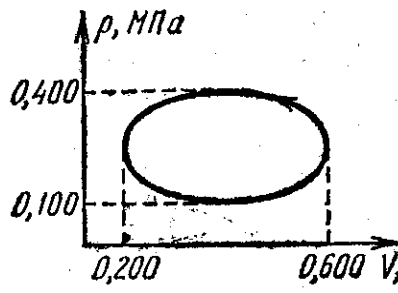
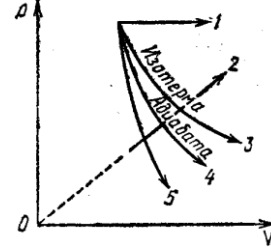
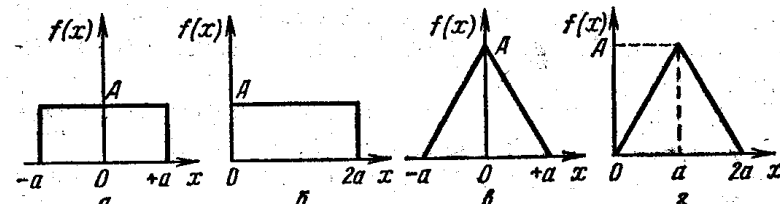
### ОПК-1

#### **Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:**

1. Предмет и методы термодинамики и статистической физики. Основные понятия термодинамики (термодинамическая система, параметры состояния, термодинамическое равновесие.)
2. Первый закон термодинамики. Внутренняя энергия. Работа и теплота. Теплоемкость.
3. Второй закон термодинамики. Энтропийная формулировка 2-го закона. Поток и производство энтропии.
4. Третий закон термодинамики. «Нулевой» закон и его роль.
5. Математический аппарат термодинамики (функции Эйлера, дифференциальные формы Пфаффа, метод якобианов преобразования).
6. Метод характеристических функций. Термодинамика открытых систем. Химический потенциал.
7. Термодинамическая фаза (Фазовые переходы 1-го и 2-го рода).
8. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
9. Теория Ландау фазовых переходов 2-го рода.
10. Понятие о теории зарождения новой фазы. Работа нуклеации.
11. Критический зародыш по Гиббсу.
12. Метод статистической физики. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.
13. Классическое и квантовое уравнение Лиувилля.
14. Распределение Максвелла. Распределение Максвелла-Больцмана.
15. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы.

#### **Задачи для проверки умений при освоении дисциплины:**

1.	В рассматриваемом интервале температур теплоемкость некоторого тела определяется функцией $C=10+2\cdot 10^{-2}T+3\cdot 10^{-5}T^2$ (Дж/К). Определить количество теплоты $Q$ , получаемое телом при нагревании от $T_1=300\text{К}$ до $T_2=400\text{К}$ .
----	--

2.	<p>Круговой процесс на диаграмме <math>p, V</math> изображается эллипсом, показанным на рис. Используя данные, приведенные на рисунке, определить количество теплоты <math>Q</math>, получаемое рабочим телом за один цикл</p>	
3.	<p>Изобразить для идеального газа примерные графики изохорического, изобарического, изотермического и адиабатического процессов на диаграммах: а) <math>p, V</math>; б) <math>T, V</math>; в) <math>T, p</math>. Графики изобразить проходящими через общую для них точку.</p>	
4.	<p>На рисунке изображены пять процессов, протекающих с идеальным газом. Как ведет себя внутренняя энергия газа в ходе каждого из процессов?</p>	
5.	<p>Некоторое количество идеального газа с одноатомными молекулами совершило при <math>p=1 \cdot 10^5 \text{ Па}</math> обратимый изобарический процесс, в ходе которого объем газа изменился от значения <math>V_1=10 \text{ л}</math> до значения <math>V_2=20 \text{ л}</math>. Определить:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>приращение внутренней энергии газа <math>\Delta U</math>,</li> <li>совершенную газом работу <math>A</math>,</li> <li>полученное газом количество теплоты <math>Q</math>.</li> </ol>	
6.	<p>На рисунке приведены графики четырех различных функций распределения вероятностей значений некоторой величины <math>x</math>. Для каждого из графиков найти константу <math>A</math>, при которой оказывается нормированной. Затем вычислить <math>x</math> и <math>x^2</math>. Для случая <math>a</math> вычислить также <math>\langle  x  \rangle</math>.</p>	

### ОПК-3

#### **Вопросы для проверки знаний при освоении дисциплины:**

1. Применение первого закона к идеальным системам: идеальному газу и фотонному газу. Понятие о сложных термодинамических системах.
2. Метод статистической физики. Основные понятия теории вероятностей. Статистические функции распределения. Усреднение. Понятие о флуктуациях.
3. Теория теплоемкости идеального газа.

4. Статистика Бозе-Эйнштейна.
5. Статистика Ферми-Дирака.
6. Переход к классической статистике Максвелла-Больцмана. Сравнение статистик.
7. Вырожденный Ферми-газ.
8. Формула Больцмана для энтропии. Статистический вес макроскопического состояния.
9. Метод Гиббса. Каноническое и микроканоническое распределения Гиббса для квантового и классического случаев.
10. Большое каноническое распределение Гиббса. Большая статистическая сумма.
11. Распределение Максвелла-Больцмана как частный случай распределения Гиббса.
12. Статистический и конфигурационный интегралы.
13. Метод Майерова. Групповое разложение. Вывод уравнения Ван-дер-Ваальса.
14. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Критическое состояние. Закон соответственного состояния.
15. Основные принципы неравновесной термодинамики. Производство энтропии в гетерогенной системе, состоящей из 2-х гомогенных фаз. Понятие о диссипативных структурах и синергетике.

### **Задачи для проверки умений при освоении дисциплины:**

**Задача № 1:** Система может находиться в любом из  $N$  состояний. Вероятность того, что система находится в  $i$ -ом состоянии, равна  $p_i$  ( $i=1, 2, \dots, N$ ), причем  $\sum_{i=1}^N p_i = 1$ . Применяя метод неопределенных множителей, показать, что распределение вероятности, соответствующее максимуму информационной энтропии  $S = -k \sum_i p_i \ln p_i$ , имеет вид

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N}$$

и что

$$S = S_1 = k \ln N.$$

**Задача № 2:** Одномерное нормальное (гауссово) распределения с нулевым средним значением и среднеквадратичным отклонением  $\sigma$  описывается выражением

$$p(x) = (2\pi\sigma^2)^{-1/2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad -\infty < x < \infty.$$

а) Показать, что для такого распределения информационная энтропия равна  $k \ln (2\pi e \sigma^2)/2$ , где  $e$  – основание натуральных логарифмов.

б) Показать, что для заданного значения  $\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx \equiv \sigma^2$  нормированное распределение вероятности, имеющее наибольшую информационную энтропию, является одномерным нормальным распределением.

**Задача № 3:** Система находится при фиксированных значениях химического потенциала и температуры. Показать, что логарифм большой статистической суммы для такой системы пропорционален объему.

**Задача № 4:** а) Показать, что для одной частицы массой  $m$ , движущейся классически и нерелятивистски в свободном от полей резервуаре объемом  $v$  (при  $g = 1$ ),  $Z_1 = h^{-3} v (2\pi m k T)^{3/2}$ , где  $T$  – температура этой системы.

б) Для  $n$  различных частиц, движущихся независимо, но с точечным взаимодействием, как в п. «а», в классическом случае должно быть справедливо равенство

$$Z_n = Z_1^n$$

Объяснить качественно, как изменится  $Z_n$ , если частицы являются неразличимыми.

### **VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

1. Лекции и практические занятия проводятся в аудиториях, оснащенных мультимедийной техникой. DLP проектор для демонстрации презентаций и учебных фильмов,
2. доступ к сети Интернет



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

<p>Базовая учебная лаборатория общей физики. Лаборатория молекулярной физики № 211 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Монитор 17" LG Flatron 1751SQ-SN Silver-Black 8ms TFT TCO 03</li> <li>2 Принтер лазерный HP LJ 1005 (14 стр./мин)</li> <li>3 Экран настенный Screen Media 153*203(M082-08150)</li> <li>4 Экран настенный Screen Media 213*213(M082-08157)</li> <li>5 Компьютер (DEPO Neos 420MD WP/OF Pro AE/E4600/2*1G/DDR667/160G/DV16/FDD/KBb/Монитор LCD BenQ17</li> <li>6 Компьютер</li> <li>7 Установка для определения определнния коэф. диффузии воздуха и водяного пара ФПТ 1-4</li> <li>8 Установка для измерения теплоты парообразования ФПТ 1-10</li> <li>9 Установка для определения универсальной газовой постоянной ФПТ 1-12</li> <li>10 Установка для определения коэф. теплопроводности воздуха ФПТ 1-3</li> <li>11 Установка для определения коэффициента вязкости воздуха ФПТ 1-1</li> <li>12 Установка для определения энтропии при плавлении олова ФПТ 1-11</li> <li>13 Установка для изучения зависимости скорости звука от температуры ФПТ 1-7</li> <li>14 Установка для исследования теплоёмкости твердого тела ФПТ 1-8</li> <li>15 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" (2 шт)</li> <li>16 Установка для определения отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме ФПТ 1-6</li> <li>17 Уравнение состояния идеального газа с применением ПК</li> <li>18 Демонстрационный набор по термодинамике</li> <li>19 Установка для формирования и измерения температур МЛИ-2</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.  MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.  Kaspersky Endpoint Security для Windows - Акт на передачу прав №1842 30.11.2020  Архиватор 7-Zip - бесплатно  Acrobat Reader DC - бесплатно  Google Chrome – бесплатно  Unreal Commander - бесплатно  Почта Outlook – бесплатно  Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p>
<p>Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ),</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Мультимедийный проектор Casio XJ-H2650 с потол. крепл.</li> <li>2. Экран Screen Media</li> <li>3. Ноутбук (переносной)</li> <li>4. Комплект учебной мебели на 68 посадочных мест</li> <li>5. Меловая доска</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.  MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.  Acrobat Reader DC</p>

<p>групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Лекционная аудитория № 228 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>		<p>- бесплатно Google Chrome – бесплатно</p>
--	--	--

### Помещения для самостоятельной работы:

Наименование помещений	Оснащенность помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт 2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь 3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D 4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО 6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3» 7. Комплект учебной мебели</p>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009 Google Chrome - бесплатно Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Lazarus 1.4.0 - бесплатно Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011 MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012 Microsoft Express Studio 4 - бесплатно MiKTeX 2.9 - бесплатно MPICH 64-bit – бесплатно MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21</p>

**Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021