

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный  
университет им. Н.И. Лобачевского»

Физический факультет  
Кафедра теоретической  
физики

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 6 от 31.05.2023 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**Статистическая физика и термодинамика**

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Физика конденсированного состояния

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород  
2023 год начала подготовки

## 1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Статистическая физика и термодинамика» относится к базовой части Б1.Б блока Б1 «Дисциплины (модули)», является обязательной для освоения, преподается на четвертом году обучения, в седьмом семестре. Освоению дисциплины предшествует освоение дисциплин (модулей) «Термодинамика и молекулярная физика», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Теоретическая механика», «Квантовая механика».

### Цели и задачи освоения дисциплины:

- овладение методами исследования физических объектов и процессов в окружающем мире, основанных на законах и принципах термодинамики и статистической физики;
- освоение студентами математического аппарата данной дисциплины, знания законов и принципов статистической физики и термодинамики;
- выработка у студентов практических навыков описания сложных процессов и закономерностей физики на языке адекватных и хорошо известных моделей.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	промежуточной аттестации
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	ОПК-1 Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	(ОПК-1) Знать принципы применения аппарата теоретической механики в приложении к профильным физическим дисциплинам. (ОПК-1) Уметь формулировать задачи в рамках профильных физических и дисциплин, требующие применения аппарата теоретической механики. (ОПК-1) Владеть навыками постановки и решения основных типов задач теоретической механики, Владеть навыками применения понятий и конструкций математического анализа к решению конкретных задач, методами решения прикладных задач	Теоретические вопросы  Задачи  Задачи	1. Индивидуальное собеседование. 2. Выполнение практических заданий.   Зачёт: Контрольные задачи

## 3. Структура и содержание дисциплины «Статистическая физика и термодинамика»

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	5
--------------------	---

Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	48
- занятия лабораторного типа	32
самостоятельная работа	62
Промежуточная аттестация	7 семестр – экзамен

### 3.2 Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В ТОМ ЧИСЛЕ				
		контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) в течение семестра, часы, из них				Самостоятельная работа в течение семестра, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<b>1. Введение. Фазовое пространство. Микроканоническое распределение.</b> Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Состояние термодинамического равновесия. Энтропия. Матрица плотности. Уравнение эволюции для матрицы плотности.	10	4	2	—	6	4
<b>2. Каноническое распределение Гиббса.</b> Каноническое распределение Гиббса. Энтропия и свободная энергия. Распределение Максвелла.	10	4	2	—	6	4
<b>3. Основные положения термодинамики.</b> Первое начало термодинамики. Основные термодинамические потенциалы. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики, теорема Нернста.	10	4	4	—	8	2
<b>4. Большое каноническое распределение Гиббса.</b> Системы с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение Гиббса. Необходимые условия термодинамического равновесия.	12	2	2	—	4	8

<b>5. Классический идеальный газ.</b> Классический идеальный газ. Распределение Больцмана. Основные	10	4	4	—	8	2
термодинамические величины для идеального газа. Уравнение Клапейрона.						
<b>6. Флуктуации термодинамических величин.</b> Максимальная работа. Достаточные условия термодинамического равновесия. Флуктуации термодинамических величин. Гауссов закон распределения для флуктуаций одной величины. Минимальная работа. Флуктуации температуры, объёма и энергии.	12	4	2	—	6	6
<b>7. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</b> Распределения Ферми-Дирака и Бозе- Эйнштейна. Основные термодинамические величины. Ферми- газ при нулевой температуре. Уравнение состояния. Ферми-газ при конечной низкой температуре. Поправки к энергии и теплоёмкость. Бозе-газ при низких температурах. Явление бозе-конденсации.	11	4	2	—	6	5
<b>8. Тепловое излучение.</b> Тепловое излучение. Распределение Планка. Термодинамические величины для теплового излучения. Закон Кирхгофа и закон Стефана-Больцмана.	8	2	2	—	4	4
<b>9. Теплоёмкость твёрдых тел.</b> Теплоёмкость твёрдых тел. Фононы. Теория Дебая.	6	2	2	—	4	2
<b>10. Вещество в магнитном поле.</b> Вещество в магнитном поле. Формула Ланжевена для намагниченности классического газа. Квантовая теория магнетизма. Диамагнитный и парамагнитный вклады в намагниченность газа.	8	2	2	—	4	4
<b>11. Неидеальные газы и фазовые переходы первого рода.</b> Неидеальные газы. Уравнение Ван- дер-Ваальса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона- Клаузиуса. Правило Гиббса для многокомпонентной системы. Фазовые переходы в модели, описываемой уравнением Ван-дер- Ваальса. Критическая точка.	10	4	2	—	6	4
<b>12. Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана.</b> Кинетика. Кинетическое уравнение	12	4	2	—	6	6

Больцмана. Релаксационное приближение. Н-теорема Больцмана. Локально равновесное распределение.						
<b>13. Кинетические коэффициенты и термоэлектрические явления.</b> Расчёт коэффициентов диффузии и электропроводности. Формула Друде. Частные случаи уравнений для термоэлектрических явлений: теплопроводность, электропроводность, эффекты Томсона и Пельтье.	10	4	2	—	6	4
<b>14. Диффузионные явления.</b> Основное кинетическое уравнение. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка для броуновской частицы. Формула Эйнштейна для дисперсии координаты. Соотношение Эйнштейна для коэффициентов диффузии и подвижности. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы и его аналог в электрической цепи. Формула Найквиста.	12	4	2	—	6	6
<b>В т.ч. текущий контроль</b>	2	2				—
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>						

### 3.3 Содержание разделов дисциплины

<b>1. Введение. Фазовое пространство. Микроканоническое распределение.</b> Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Состояние термодинамического равновесия. Энтропия. Матрица плотности. Уравнение эволюции для матрицы плотности.
<b>2. Каноническое распределение Гиббса.</b> Каноническое распределение Гиббса. Энтропия и свободная энергия. Распределение Максвелла.
<b>3. Основные положения термодинамики.</b> Первое начало термодинамики. Основные термодинамические потенциалы. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики, теорема Нернста.
<b>4. Большое каноническое распределение Гиббса.</b> Системы с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение Гиббса. Необходимые условия термодинамического равновесия.
<b>5. Классический идеальный газ.</b> Классический идеальный газ. Распределение Больцмана. Основные термодинамические величины для идеального газа. Уравнение Клапейрона.
<b>6. Флуктуации термодинамических величин.</b> Максимальная работа. Достаточные условия термодинамического равновесия. Флуктуации термодинамических величин. Гауссов закон распределения для флуктуаций одной величины. Минимальная работа. Флуктуации температуры, объёма и энергии.
<b>7. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна.</b> Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Основные термодинамические величины.

Ферми-газ при нулевой температуре. Уравнение состояния. Ферми-газ при конечной низкой температуре. Поправки к энергии и теплоёмкость. Бозе-газ при низких температурах. Явление бозе-конденсации.
<b>8. Тепловое излучение.</b> Тепловое излучение. Распределение Планка. Термодинамические величины для теплового излучения. Закон Кирхгофа и закон Стефана-Больцмана.
<b>9. Теплоёмкость твёрдых тел.</b> Теплоёмкость твёрдых тел. Фононы. Теория Дебая.
<b>10. Вещество в магнитном поле.</b> Вещество в магнитном поле. Формула Ланжевена для намагниченности классического газа. Квантовая теория магнетизма. Диамагнитный и парамагнитный вклады в намагниченность газа.
<b>11. Неидеальные газы и фазовые переходы первого рода.</b> Неидеальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило Гиббса для многокомпонентной системы. Фазовые переходы в модели, описываемой уравнением Ван-дер-Ваальса. Критическая точка.
<b>12. Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана.</b> Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение. H-теорема Больцмана. Локально равновесное распределение.
<b>13. Кинетические коэффициенты и термоэлектрические явления.</b> Расчёт коэффициентов диффузии и электропроводности. Формула Друде. Частные случаи уравнений для термоэлектрических явлений: теплопроводность, электропроводность, эффекты Томсона и Пельтье.
<b>14. Диффузионные явления.</b> Основное кинетическое уравнение. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка для броуновской частицы. Формула Эйнштейна для дисперсии координаты. Соотношение Эйнштейна для коэффициентов диффузии и подвижности. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы и его аналог в электрической цепи. Формула Найквиста.

#### 4. Образовательные технологии

- 1) Чтение лекций;
- 2) сопровождение лекций написанием и выводом формул, построением графиков, изображением рисунков на доске;
- 3) методика «вопросы и ответы»;
- 4) выполнение практического задания у доски;
- 5) индивидуальная работа над практическим заданием;
- 6) работа в парах над практическим заданием;
- 7) работа в малых группах над практическим заданием;
- 8) методика «мозговой штурм».

#### 5. Учебно-методическое обеспечение, формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся предполагает изучение конспектов лекций, выделенных разделов основной литературы, а также дополнительной литературы, выполнение практических заданий, отвечающих изучаемым разделам дисциплины, подготовку к промежуточной аттестации.

Перечень основной и дополнительной литературы для самостоятельного изучения приведен настоящей Рабочей программы дисциплины.

Контрольные вопросы для промежуточной аттестации, примеры практических заданий приведены настоящей Рабочей программы дисциплины.

## 6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине

**6.1 Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений) приведён выше (раздел 2). Ниже приведена таблица образовательных дескрипторов (отличительных признаков уровней освоения компетенций)**

Индикаторы компетенции	ОЦЕНКА СФОРМИРОВАННОСТИ КОМПЕТЕНЦИИ						
	Плохо	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Очень хорошо	Отлично	Превосходно
<u><b>Знания</b></u>	Отсутствие знаний теоретического материала или невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа.	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок.	Уровень знаний в объеме, полностью соответствующем программе подготовки, допущены одна-две несущественных ошибки.	Уровень знаний в объеме, полностью соответствующем программе подготовки, либо, возможно, превышающем ее. Без ошибок.
<u><b>Умения</b></u>	Отсутствие минимальных умений или невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.	При решении стандартных задач и/или выполнении стандартных практических заданий не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками и/или выполнены все практические задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все задачи с негрубыми ошибками и/или выполнены все практические задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все задачи с некоторыми недочетами и/или выполнены все практические задания, в полном объеме, но некоторые с небольшими недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все задачи с отдельными несущественными недочетами и/или выполнены все практические задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи и/или выполнены все практические задания, в полном объеме без недочетов.
<u><b>Навыки (владения)</b></u>	Отсутствие владения материалом или невозможность	При решении стандартных задач и/или выполнении стандартных	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач и/или	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач и/или	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач и/или	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач и/или выполнении	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач и/или выполнению

	ть оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.	х практических заданий не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	выполнения стандартных практических заданий с некоторыми недочетами.	выполнении практических заданий с некоторыми недочетами.	выполнении практических заданий без ошибок и недочетов.	нестандартных практических заданий без ошибок и недочетов.	нестандартных практических заданий.
Характеристика сформированности компетенции	Компетенция совершенно не сформирована. Отсутствуют знания, умения, навыки, необходимые для решения практических (профессиональных) задач.	Компетенция не сформирована. Имеющихся знаний, умений, навыков явно недостаточно для решения практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции соответствует минимальным требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по большинству практических задач.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям, но есть недочеты. Имеющихся знаний, умений и навыков в целом достаточно для решения практических (профессиональных) задач, но требуется дополнительная практика по некоторым профессиональным задачам.	Сформированность компетенции в целом соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в целом достаточно для решения стандартных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции полностью соответствует требованиям. Имеющихся знаний, умений, навыков в полной мере достаточно для решения сложных практических (профессиональных) задач.	Сформированность компетенции превышает стандартные требования. Имеющихся знаний, умений, навыков в полной мере достаточно для применения творческого подхода к решению сложных практических (профессиональных) задач.

## 6.2 Описание шкал оценивания

Промежуточной аттестацией для дисциплины «Статистическая физика и термодинамика» является зачет и экзамен.

По итогам зачета выставляются оценки «Не зачтено» (означает отсутствие аттестации) или «Зачтено» (означает прохождение первого этапа промежуточной аттестации – зачета). В случае прохождения зачета обучающийся допускается ко второму этапу промежуточной аттестации – экзамену.

По итогам экзамена выставляется оценка по семибалльной шкале: оценки «Плохо» и «Неудовлетворительно» означают отсутствие аттестации, оценки «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично» и «Превосходно» выставляются при успешном прохождении аттестации.

## 6.3 Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине, характеризующих этапы формирования компетенций

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование (промежуточная аттестация).



Контрольные вопросы для индивидуального собеседования представлены в настоящей Рабочей программы дисциплины.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и навыков используются следующие процедуры и технологии:

- выполнение практических заданий (текущий контроль, промежуточная аттестация).

Примеры практических заданий для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в настоящей Рабочей программы дисциплины.

Критериями оценивания на зачете являются наличие умений и владений (навыков), перечисленных в настоящей Рабочей программы дисциплины. Критериями оценивания на экзамене являются полнота знаний, наличие умений и владений (навыков), перечисленных в настоящей Рабочей программы дисциплины.

**«Не зачтено»** – обучающийся не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Зачтено»** – обучающийся успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Плохо»** – обучающийся не продемонстрировал никаких знаний об основных теоретических разделах курса, не показал никаких умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Неудовлетворительно»** – обучающийся не продемонстрировал представления об основных теоретических разделах курса, не показал минимально допустимый уровень умений и навыков выполнения практических заданий;

**«Удовлетворительно»** – обучающийся продемонстрировал изложение формулировок основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий базового уровня сложности;

**«Хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение основных теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Очень хорошо»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение практически всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения стандартных практических заданий;

**«Отлично»** – обучающийся продемонстрировал связное изложение всех теоретических положений курса и успешно показал умения и навыки выполнения практических заданий повышенного уровня сложности;

**«Превосходно»** – обучающийся продемонстрировал уровень знаний в объеме, превышающем стандартную программу подготовки, и продемонстрировал творческий подход к выполнению практических заданий повышенного уровня сложности.

#### **6.4 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции**

6.4.1. При проведении экзамена обучающимся предлагаются следующие контрольные вопросы, охватывающие программу дисциплины «Статистическая физика и термодинамика»:

1. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение.
2. Состояние термодинамического равновесия. Энтропия.
3. Матрица плотности. Уравнение эволюции для матрицы плотности.
4. Каноническое распределение Гиббса. Энтропия и свободная энергия.
5. Распределение Максвелла.
6. Первое начало термодинамики. Основные термодинамические потенциалы.
7. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики, теорема Нернста.
8. Системы с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение Гиббса.
9. Необходимые условия термодинамического равновесия.
10. Классический идеальный газ. Распределение Больцмана.
11. Основные термодинамические величины для идеального газа. Уравнение Клапейрона.
12. Максимальная работа. Достаточные условия термодинамического равновесия.
13. Флуктуации термодинамических величин. Гауссов закон распределения для флуктуаций одной величины.
14. Минимальная работа. Флуктуации температуры, объёма и энергии.
15. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Основные термодинамические величины.
16. Ферми-газ при нулевой температуре. Уравнение состояния.
17. Ферми-газ при конечной низкой температуре. Поправки к энергии и теплоёмкость.
18. Бозе-газ при низких температурах. Явление бозе-конденсации.
19. Тепловое излучение. Распределение Планка.
20. Термодинамические величины для теплового излучения. Закон Кирхгофа и закон Стефана-Больцмана.
21. Теплоёмкость твёрдых тел. Теория Дебая.
22. Вещество в магнитном поле. Формула Ланжевена для намагниченности классического газа.
23. Квантовая теория магнетизма. Диамагнитный и парамагнитный вклады в намагниченность газа.
24. Неидеальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса.
25. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило Гиббса для многокомпонентной системы.
26. Фазовые переходы в модели, описываемой уравнением Ван-дер-Ваальса. Критическая точка.
27. Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение.
28. Кинетика. H-теорема Больцмана.
29. Кинетика. Локально равновесное распределение.
30. Кинетика. Расчёт коэффициентов диффузии и электропроводности. Формула Друде.
31. Частные случаи уравнений для термоэлектрических явлений: теплопроводность, электропроводность, эффекты Томсона и Пельтье.

32. Диффузионные явления. Основное кинетическое уравнение. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка.
33. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка для броуновской частицы. Формула Эйнштейна для дисперсии координаты. Соотношение Эйнштейна для коэффициентов диффузии и подвижности.
34. Уравнение Ланжевена для броуновской частицы и его аналог в электрической цепи. Формула Найквиста.

6.4.2. При проведении зачета обучающимся предлагаются следующие вопросы:

1. Микроканоническое распределение, вычисление фазовых объёмов.
2. Каноническое распределение Гиббса.
3. Большое каноническое распределение Гиббса.
4. Термодинамика идеального газа, процессы с идеальным газом.
5. Флуктуации основных термодинамических величин.
6. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Ферми-газ при нулевой температуре.
7. Тепловое излучение, распределение Планка, закон Стефана-Больцмана.
8. Кинетическое уравнение Больцмана в релаксационном приближении.

6.4.3. Примеры практических заданий для практических занятий, самостоятельной работы обучающихся, проведения текущего контроля и промежуточной аттестации:

1. Найти фазовый объём для частицы с законом дисперсии  $E = \alpha p^4$ , находящейся в объёме  $V$ .
2. Определить и начертить фазовую траекторию для частицы с зарядом  $-q_1$ , движущуюся в поле другой, неподвижной заряженной частицы с зарядом  $+q_2$ . Начальное расстояние между частицами  $r_0$ , начальная скорость равна нулю.
3. Доказать, что для случайной величины  $x$  с законом распределения  $\rho(x)$  вероятность события, при котором  $x$  окажется больше некоторого значения  $a$ , удовлетворяет неравенству Чебышёва  $w(x > a) \leq \overline{x^2}/a^2$ , где  $\overline{x^2} = \int_{-\infty}^{+\infty} x^2 \rho(x) dx$ .
4. Определить среднюю энергию  $\overline{E}$  и относительную среднеквадратичную флуктуацию  $\frac{\Delta E^2}{\overline{E}^2}$  для квантового осциллятора с уровнями энергии  $E_n = \hbar \omega n$ , находящегося в контакте с термостатом при температуре  $T$ . Как выглядят результаты в пределе высоких температур  $kT \gg \hbar \omega$ ?
5. Определить убыль энтропии  $\Delta S$  и дисперсию  $\overline{\Delta \varphi^2}$  угла отклонения (через вычисление минимальной работы  $\Delta R$ ), возникающей при самопроизвольных малых колебаниях с амплитудой  $\varphi \ll 1$  математического маятника длины  $l$  с грузом массы  $m$  в поле силы тяжести  $g$  при температуре термостата  $T$ .
6. Разреженный газ находится в сосуде при давлении  $p$  и температуре  $T$ . Определить скорость истечения газа  $v_{out} = -dN/dt$  в вакууме через

небольшое отверстие площади  $S$  при максвелловском распределении молекул газа по скоростям. Воспользоваться соотношением (объяснив его физический смысл):

$$-dN = dt \cdot n \cdot S \cdot \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} \cdot \int_0^\infty v_x dv_x \int_{-\infty}^\infty e^{-\frac{mv^2}{2kT}} dv_y dv_z, \text{ где } n \text{ — концентрация молекул газа.}$$

7. Найти центр тяжести столба идеального газа в однородном поле тяжести, если известны ускорение свободного падения  $g$ , масса молекулы газа  $m$ , температура  $T$ .
8. Доказать, что изотерма не может дважды пересечь адиабату. Воспользоваться методом расчёта работы при круговом процессе, построенном на участках изотермы и адиабаты, пересекающихся по предположению в двух различных точках  $A$  и  $B$ .
9. Найти среднюю кинетическую энергию  $\langle E \rangle = \frac{m \langle v^2 \rangle}{2}$  и наиболее вероятную энергию  $E_0 = \frac{mv_0^2}{2}$ , где  $v_0$  — точка максимума распределения Максвелла по модулям скоростей для идеального газа.
10.  $N$  частиц идеального газа занимают объём  $V$ . Происходит флуктуация, в результате которой все частицы газа собираются в объёме  $V/2$ . Найти вероятность такой флуктуации.
11. Найти распределение вероятностей  $W(\omega_1, \omega_2, \omega_3)$  для угловых скоростей вращения молекулы в отсутствии внешних полей при температуре  $T$ , если её кинетическая энергия  $\epsilon = \frac{I_1 \omega_1^2}{2} + \frac{I_2 \omega_2^2}{2} + \frac{I_3 \omega_3^2}{2}$ , где  $I_{1,2,3}$  — главные моменты инерции.
12. Частицы, обладающие спином  $1/2$  и магнитным моментом  $\mu$  находятся в постоянном магнитном поле  $H$ . Считая, что энергия частицы в магнитном поле для параллельного с магнитным полем спина даётся зеемановским слагаемым  $\epsilon_1 = \epsilon_0 - \mu H$ , а при антипараллельном —  $\epsilon_2 = \epsilon_0 + \mu H$ , где  $\epsilon_0$  — энергия в отсутствии магнитного поля, найти отношение  $n_1/n_2$  числа частиц с параллельными и антипараллельными спинами при температуре  $T$ .
13. Найти изменение энтропии тела  $\Delta S$  при его расширении на  $\Delta V$  (выполняется условие  $\frac{\Delta V}{V} \ll 1$ ) при постоянном давлении. Считая известными теплоёмкость, тепловой коэффициент расширения  $\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$ , и выражение для энтропии идеального газа  $S = -Nk \ln P + N c_p \ln T$ .
14. Получить уравнение состояния  $PV = \frac{E}{3}$  для полностью вырожденного ( $T=0$ ) электронного ультрарелятивистского газа с законом дисперсии  $\epsilon(p) = cp$ .

15. Найти теплоёмкость одного для  $N$  частиц идеального газа, находящихся в однородном поле тяжести внутри цилиндра с площадью основания  $S$ , с бесконечно высокими стенками.
16. Найти совершаемую над идеальным газом работу и количество тепла, получаемое им при сжатии от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$  при политропическом процессе  $PV^n = a$ .
17. Вывести распределение Больцмана для плотности идеального газа в однородном поле тяжести из кинетического уравнения, пренебрегая столкновениями молекул.
18. Для газа Ван-дер-Ваальса найти изменение температуры при расширении в вакуум от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$ .

#### 6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

1. Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 №55-ОД.
2. Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Теоретическая физика. Т. 5. Статистическая физика. Часть 1. – М.: Наука. – 1976. – 584 с. Фонд ФБ ННГУ, 20 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=430424>.
2. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – Теоретическая физика. Т. 10. Физическая кинетика.  
(М.: Наука. – 1979. – 527 с. Фонд ФБ ННГУ, 29 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72315>;  
М.: ФИЗМАТЛИТ. – 2001. – 536 с. Фонд ФБ ННГУ 3 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=46230>)
3. В.Г. Левич. – Курс теоретической физики, Том I. – М.: Наука. – 1969. – 910 с. Фонд ФБ ННГУ, 20 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72316>.
4. Левич В.Г., Вдовин Ю.А., Мямлин В.А. – Курс теоретической физики, Том II. – М.: Наука. – 1971. – 936 с. Фонд ФБ ННГУ, 20 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72317>.
5. А.С. Гаревский, В.П. Морозов. – Сборник задач по термодинамике и статистической физике. – Н. Новгород: Издательство ННГУ. – 2012. – 91 с. Фонд ФБ ННГУ, 40 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=494059>.
6. Сборник задач по теоретической физике (авторы Л.Г. Гречко, В.И. Сугаков, О.Ф. Томасевич, А.М. Федорченко). – М.: Высшая школа. – 1972. – 336 с. – Фонд ФБ ННГУ, 20 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=72328>.

б) дополнительная литература:

1. А.И. Ансельм. – Основы термодинамики и статистической физики. – М.: Наука. – 1973. – 423 с. Фонд ФБ ННГУ, 12 экз.

- <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=241568>.
2. Я.П. Терлецкий. – Статистическая физика. – М.: Высшая школа. – 1973. – 278 с. Фонд ФБ ННГУ, 9 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=241592>.
3. И.П. Базаров. – Термодинамика. – М.: Высшая школа. – 1991. – 375 с. Фонд ФБ ННГУ, 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=430195>.
4. Р. Кубо. – Статистическая механика. – М.: Мир. – 1967. – 452 с. Фонд ФБ ННГУ, 12 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=240644>.
5. Р. Кубо. – Термодинамика. – М.: Мир. – 1970. – 304 с. Фонд ФБ ННГУ, 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=353901>.
6. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – М.: Наука. – 1977. – 552 с. Фонд ФБ ННГУ, 18 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78042>.
7. Задачи по термодинамике и статистической физике, под ред. П. Ландсберга; пер. с англ. под ред. И. П. Базарова. – М.: Мир. – 1974. – 640 с. Фонд ФБ ННГУ, 15 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78026>.
8. Г. Шиллинг. – Статистическая физика в примерах. – М.: Мир. – 1976. – 431 с. Фонд ФБ ННГУ, 9 экз.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=240648>.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.ru/>.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Материально-техническое обеспечение дисциплины обусловлено наличием учебных аудиторий для проведения занятий, оборудованных специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории. Ресурс мела и маркеров для доски в учебных аудиториях регулярно возобновляется.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся (на базе Фундаментальной библиотеки ННГУ) оснащены компьютерной техникой с подключением к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ.

Программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 03.03.02 Физика

Автор,  
доцент кафедры  
теоретической физики  
к.ф.-м.н., доцент Д.В. Хомицкий

Рецензент:  
заведующий кафедрой  
физики полупроводников, электроники и наноэлектроники  
д.ф.-м.н., профессор Д.А. Павлов

Заведующий кафедрой  
теоретической физики  
д.ф.-м.н., доцент В.А. Бурдов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета  
ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ А.А. Перов