

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

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Статистическая физика и термодинамика

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

---

Направленность образовательной программы  
Материалы микро- и наносистемной техники

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.09.03 Статистическая физика и термодинамика относится к обязательной части образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

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	Для промежуточной аттестации
ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, методов математического анализа и моделирования	ОПК-1.1: Знает фундаментальные законы физики и математики, методы математического анализа и моделирования ОПК-1.2: Умеет решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общеинженерных знаний ОПК-1.3: Иметь навыки применения физических законов и математических методов для решения задач профессиональной деятельности теоретического и прикладного характера	ОПК-1.1: Знание фундаментальных законов и практически ориентированных результатов статистической физики и термодинамики  ОПК-1.2: Умение решать задачи профессиональной деятельности на основе применения знаний в области статистической физики и термодинамики  ОПК-1.3: Владение навыками применения методов статистической физики и термодинамики для решения задач профессиональной деятельности теоретического и прикладного характера	Контрольная работа	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	4
Часов по учебному плану	144
в том числе	

<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
<b>- занятия лекционного типа</b>	<b>32</b>
<b>- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)</b>	<b>32</b>
<b>- КСР</b>	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>42</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен</b>

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
1. Введение. Фазовое пространство. Микроканоническое распределение. Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение. Состояние термодинамического равновесия. Энтропия. Матрица плотности. Уравнение эволюции для матрицы плотности.	10	2	4	6	4
2. Каноническое распределение Гиббса. Каноническое распределение Гиббса. Энтропия и свободная энергия. Распределение Максвелла.	12	4	4	8	4
3. Основные положения термодинамики. Первое начало термодинамики. Основные термодинамические потенциалы. Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики, теорема Нернста.	12	4	4	8	4
4. Большое каноническое распределение Гиббса. Системы с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение Гиббса. Необходимые условия термодинамического равновесия.	6	2	2	4	2
5. Классический идеальный газ. Классический идеальный газ. Распределение Больцмана. Основные термодинамические величины для идеального газа. Уравнение Клапейрона.	10	2	4	6	4
6. Флуктуации термодинамических величин. Максимальная работа. Достаточные условия термодинамического равновесия. Флуктуации термодинамических величин. Гауссов закон распределения для флуктуаций одной величины. Минимальная работа. Флуктуации температуры, объёма и энергии.	8	2	2	4	4
7. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. 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.	8	2	2	4	4
8. Тепловое излучение. Тепловое излучение. Распределение Планка. Термодинамические величины для теплового излучения. Закон Кирхгофа и закон Стефана-Больцмана.	6	2	2	4	2
9. Теплоёмкость твердых тел. Теплоёмкость твёрдых тел. Фононы. Теория Дебая.	6	2	2	4	2
10. Вещество в магнитном поле. Вещество в магнитном поле. Формула Ланжевена для намагниченности классического газа. Квантовая теория магнетизма. Диамагнитный и парамагнитный вклады в намагниченность газа.	10	4	2	6	4
11. Неидеальные газы и фазовые переходы первого рода. 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
12. Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение. Расчёт коэффициентов диффузии и электропроводности.	8	2	2	4	4

Формула Друде.					
Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	144	32	32	66	42

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

А.С. Гаревский, В.П. Морозов, Сборник задач по термодинамике и статистической физике, Издательство ННГУ, 2012, 91с.

#### 5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

##### 5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольная работа) для оценки сформированности компетенции ОПК-1

Контрольная работа по теме "Каноническое распределение Гиббса"

Задача 1.

Определить среднюю энергию и относительную среднеквадратичную флуктуацию для квантового осциллятора, находящегося в контакте с термостатом при температуре  $T$ . Как выглядят результаты в пределе высоких температур ?

Задача 2.

Найти центр тяжести  $Z_0$  столба идеального газа в однородном поле тяжести, если известны ускорение свободного падения  $g$ , масса молекулы газа  $m$ , температура  $T$

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольная работа)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Обучаемый успешно решил половину или более половины задач из контрольной работы
не зачтено	Обучаемый решил менее половины задач из контрольной работы

#### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

##### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. 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, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации

#### 5.3.1 Типовые задания, выносимые на промежуточную аттестацию:

##### Оценочное средство - Задачи

##### Экзамен

##### Критерии оценивания (Задачи - Экзамен)

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
превосходно	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, а также на дополнительный вопрос повышенной трудности.
отлично	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, а также на дополнительный вопрос.
очень хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, но не ответил в полном объёме на дополнительный вопрос.
хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил с достаточной полнотой на вопрос в билете, демонстрируя навыки обоснования теоретических положений с помощью преподавателя.
удовлетворительно	Обучаемый применял правильные методы для решения задачи в билете и рассказал основные положения теоретического вопроса без обоснования, с помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Обучаемый не смог применить правильные методы для решения задачи в билете и не рассказал основные положения теоретического вопроса.

Оценка	Критерии оценивания
плохо	Обучаемый не смог продемонстрировать какие-либо методы для решения задачи в билете и не рассказал никаких положений теоретического вопроса.

**Типовые задания (Задачи - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ОПК-1**  
(Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования)

1. Вычислить  $g(E)$  для ультрарелятивистской частицы, заключённой в объёме  $V$ .
2. Определить убыль энтропии и дисперсию угла отклонения (через вычисление минимальной работы  $\overline{\Delta\varphi^2}$ ) при самопроизвольных малых колебаниях математического маятника длины  $L$  с грузом массы  $m$  в поле силы тяжести  $g$  при температуре термостата  $T$ .
3.  $N$  частиц идеального газа занимают объём  $V$ . Происходит флуктуация, в результате которой все частицы газа собираются в объёме  $V/2$ . Найти вероятность такой флуктуации.
4. Найти теплоёмкость для  $N$  частиц идеального газа, находящихся в однородном поле тяжести внутри цилиндра с площадью основания  $S$ , с бесконечно высокими стенками, при температуре термостата  $T$ . Закон дисперсии  $E = p^2/2m$ .
5. Для газа Ван-дер-Ваальса с параметрами  $a$ ,  $b$ , содержащего  $N$  молекул с теплоёмкостью  $cV$  на одну молекулу, найти изменение температуры при расширении в вакуум от объёма  $V_1$  до объёма  $V_2$ .
6. Вывести распределение Больцмана для плотности идеального газа в однородном поле тяжести из кинетического уравнения, пренебрегая столкновениями молекул. Считать, что импульсная часть распределения имеет вид распределения Максвелла.

**Оценочное средство - Контрольные вопросы**

*Экзамен*

**Критерии оценивания (Контрольные вопросы - Экзамен)**

Оценка	Критерии оценивания
--------	---------------------

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, а также на дополнительный вопрос повышенной трудности.
отлично	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, а также на дополнительный вопрос.
очень хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил в полном объёме на вопрос в билете, но не ответил в полном объёме на дополнительный вопрос.
хорошо	Обучаемый самостоятельно и правильно решил задачу в билете и ответил с достаточной полнотой на вопрос в билете, демонстрируя навыки обоснования теоретических положений с помощью преподавателя.
удовлетворительно	Обучаемый применял правильные методы для решения задачи в билете и рассказал основные положения теоретического вопроса без обоснования, с помощью преподавателя.
неудовлетворительно	Обучаемый не смог применить правильные методы для решения задачи в билете и не рассказал основные положения теоретического вопроса.
плохо	Обучаемый не смог продемонстрировать какие-либо методы для решения задачи в билете и не рассказал никаких положений теоретического вопроса.

**Типовые задания (Контрольные вопросы - Экзамен) для оценки сформированности компетенции ОПК-1 (Способен решать задачи профессиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и общетехнических знаний, методов математического анализа и моделирования)**

№	Вопросы	Код формируемой компетенции
1	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Микроканоническое распределение.	ОПК-1
2	Состояние термодинамического равновесия. Энтропия.	ОПК-1
3	Матрица плотности. Уравнение эволюции для матрицы плотности.	ОПК-1
4	Каноническое распределение Гиббса. Энтропия и свободная энергия.	ОПК-1



5	Распределение Максвелла.	ОПК-1
6	Первое начало термодинамики. Основные термодинамические потенциалы.	ОПК-1
7	Обратимые и необратимые процессы. Второе начало термодинамики. Третье начало термодинамики, теорема Нернста.	ОПК-1
8	Системы с переменным числом частиц. Большое каноническое распределение Гиббса.	ОПК-1
9	Необходимые условия термодинамического равновесия.	ОПК-1
10	Классический идеальный газ. Распределение Больцмана.	ОПК-1
11	Основные термодинамические величины для идеального газа. Уравнение Клапейрона.	ОПК-1
12	Максимальная работа. Достаточные условия термодинамического равновесия.	ОПК-1
13	Флуктуации термодинамических величин. Гауссов закон распределения для флуктуаций одной величины.	ОПК-1
14	Минимальная работа. Флуктуации температуры, объёма и энергии.	ОПК-1
15	Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна. Основные термодинамические величины.	ОПК-1
16	Ферми-газ при нулевой температуре. Уравнение состояния.	ОПК-1
17	Ферми-газ при конечной низкой температуре. Поправки к энергии и теплоёмкость.	ОПК-1
18	Бозе-газ при низких температурах. Явление бозе-конденсации.	ОПК-1
19	Тепловое излучение. Распределение Планка	ОПК-1
20	Термодинамические величины для теплового излучения. Закон Кирхгофа и закон Стефана-Больцмана	ОПК-1
21	Теплоёмкость твёрдых тел. Теория Дебая	ОПК-1
22	Вещество в магнитном поле. Формула Ланжевена для намагниченности классического газа	ОПК-1
23	Квантовая теория магнетизма. Диамагнитный и	ОПК-1

	парамагнитный вклады в намагниченность газа	
24	Неидеальные газы. Уравнение Ван-дер-Ваальса	ОПК-1
25	Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Правило Гиббса для многокомпонентной системы	ОПК-1
26	Фазовые переходы в модели, описываемой уравнением Ван-дер-Ваальса. Критическая точка	ОПК-1
27	Кинетика. Кинетическое уравнение Больцмана. Релаксационное приближение	ОПК-1
28	Кинетика. H-теорема Больцмана	ОПК-1
29	Кинетика. Локально равновесное распределение	ОПК-1
30	Кинетика. Расчёт коэффициентов диффузии и электропроводности. Формула Друде	ОПК-1
31	Диффузионные явления. Основное кинетическое уравнение. Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка	ОПК-1
32	Уравнение Эйнштейна-Фоккера-Планка для броуновской частицы. Формула Эйнштейна для дисперсии координаты. Соотношение Эйнштейна для коэффициентов диффузии и подвижности	ОПК-1
33	Уравнение Ланжевена для броуновской частицы	ОПК-1

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

- Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов. - Изд. 3-е, доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1973-. Теоретическая физика. Т. 5 : Статистическая физика, ч. 1. - 1976. - Изд. 3-е, доп. - 584 с. - 1.40., 43 экз.
- Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики : [для физ. специальностей вузов]. - М. : Наука, 1973. - 423 с. : черт. - 1.01., 12 экз.
- Левич Вениамин Григорьевич. Курс теоретической физики : [для физ.-техн. вузов и фак.]. Т. 1 : Теория электромагнитного поля. Теория относительности. Статистическая физика. Электромагнитные процессы в веществе. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1969. - 910 с. : с черт. - 4200.00., 109 экз.
- Гаревский Анатолий Степанович. Сборник задач по термодинамике и статистической физике : учеб.-метод. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подгот. 011200

Физика, 210100 Электроника и нанoeлектроника, 230400 Информ. системы и технологии / ННГУ. - Н. Новгород : [б. и.], 2012 (Тип. ННГУ). - 91 с. - 50.00., 40 экз.

5. Левич Вениамин Григорьевич. Курс теоретической физики : [для физ.-техн. вузов и фак.]. Т. 2 : Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика / под ред. В. Г. Левича. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1971. - 936 с. : с черт. - 2.19., 58 экз.

6. Сборник задач по теоретической физике : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1984. - 319 с. : ил. - 0.85., 2 экз.

#### Дополнительная литература:

1. Румер Юрий Борисович. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов / [ред. Т. Г. Корышева]. - Изд. 2-е, испр. и доп. - М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. - 552 с. - 1.50., 11 экз.

2. Базаров Иван Павлович. Термодинамика : [учеб. для ун-тов по специальности "Физика"]. - Изд. 4-е, перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1991. - 375, [1] с. : ил. - ISBN 5-06-000626-3 : 1.30., 98 экз.

3. Ландау Лев Давыдович. Теоретическая физика : [учеб. пособие для физ. специальностей ун-тов : в 10 т.]. Т. 10 : Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. - М. : Наука, 1979. - 527 с. : граф. - 1.40., 33 экз.

4. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах / пер. с нем. А. Ф. Дите и М. С. Кагана ; под ред. Д. Н. Зубарева и Э. Л. Нагаева. - М. : Мир, 1976. - 431 с. : ил. - 2.05., 8 экз.

5. Терлецкий Я. П. Статистическая физика : [учеб. пособие для физ.-мат. и физ. специальностей вузов]. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : Высшая школа, 1994. - 349 с. : ил. - 2700.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Не используется

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению 28.03.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Хомицкий Денис Владимирович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Заведующий кафедрой: Павлов Дмитрий Алексеевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.