

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

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ

протокол от  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Рабочая программа дисциплины**  
Статистическая физика и термодинамика

---

Уровень высшего образования  
Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность  
03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
Фундаментальная физика

---

Форма обучения  
очная

---

Нижний Новгород

2021 год

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.О.11.04, Статистическая физика и термодинамика относится к обязательной части ОПОП направления подготовки 03.03.02 Физика.

## 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	
ОПК-1: Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1: Знания ОПК-1.2: Умения ОПК-1.3: Навыки	ОПК-1.1: Знать основы классической статистической физики равновесных систем; термодинамическое (феноменологическое) описание равновесного состояния макроскопических систем и квазистатических процессов; свойства необратимых процессов приближения к термодинамическому равновесию; условия равновесия и устойчивости термодинамических систем; характеристики флуктуаций в равновесных системах; основы квантовой статистической физики. ОПК-1.2: Уметь пользоваться законами термодинамики и статистическими распределениями для расчета термодинамических параметров равновесных систем и их флуктуаций, для описания квазистационарных процессов в термодинамических системах. ОПК-1.3: Владеть навыками решения задач, основываясь	Собеседование и задачи (практические задания)

		на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.	
ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.	ОПК-3.1: Знания ОПК-3.2: Умения ОПК-3.3: Навыки	ОПК-3.1: Знать базовые принципы работы современных информационных технологий ОПК-3.2: Уметь применять полученные знания термодинамики и статистической физики для решения задач профессиональной деятельности ОПК-3.3: Владеть навыками научно-исследовательской работы с применением современных информационных технологий	Собеседование и задачи (практические задания)

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1. Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>7</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>252</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>64</b>
- КСР	<b>3</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>85</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>экзамен, зачёт</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,

		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	часы
	очная	очная	очная	очная	очная	очная
Введение в термодинамику	11	4	4	0	8	3
Формализм термодинамики	12	4	4	0	8	4
Формализм статистической физики	14	4	4	0	8	6
Микроканоническое распределение	14	4	4	0	8	6
Распределение Гиббса	14	4	4	0	8	6
Квантовое распределение Гиббса	14	4	4	0	8	6
Тождественные частицы	14	4	4	0	8	6
Равновесное излучение	14	4	4	0	8	6
Неидеальные газы	14	4	4	0	8	6
Равновесие фаз	14	4	4	0	8	6
Многокомпонентные системы	14	4	4	0	8	6
Твердое тело	14	4	4	0	8	6
Термодинамика диэлектриков и магнетиков	36	12	12	0	24	12
Теория флуктуаций	14	4	4	0	8	6
Аттестация	36					
КСР	3				3	
Итого	252	64	64	0	131	85

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 16 ч.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Освоение методов решения научно-исследовательских задач и способов применения результатов научных исследований в инновационной деятельности

- компетенций:

ОПК-3: Способен понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках: занятий семинарского типа, групповых консультаций, индивидуальных консультаций.

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

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

#### 5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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 незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие	При	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр	Продемонстр

	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения.  Имели место грубые ошибки.	рированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	рированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	рированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом . 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 оценки 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
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	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»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

(согласно оценочным средствам табл.2)

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

- 1) Математическая формулировка второго начала. Энтропия как термодинамический потенциал равновесной системы.
- 2) Термодинамические потенциалы в простых системах.
- 3) Экстенсивные и интенсивные параметры. Максимальный произвол в зависимости термодинамических потенциалов от своих аргументов.
- 4) Микроканоническое распределение и уравнения состояния.
- 5) Распределение вероятностей по энергиям подсистем, находящихся в тепловом контакте.
- 6) Распределение Гиббса в классической статистической физике.
- 7) Распределение вероятности по энергии системы в термостате.
- 8) Квантовое каноническое распределение.
- 9) Плотность квантовых состояний в квазиклассическом пределе.
- 10) Большое каноническое распределение.
- 11) Расширенное каноническое распределение.
- 12) Уравнения состояния идеального газа и условия их применимости.
- 13) Идеальный газ тождественных частиц. Распределения Ферми-Дирака и Бозе-Эйнштейна, расчет уравнений состояния.
- 14) Термодинамика фотонного газа.
- 15) Излучение черного тела (интенсивность излучения в единицу телесного угла).
- 16) Плотность свободной энергии в диэлектрической среде, выраженная через макроскопические поля
- 17) Свободная энергия диэлектрического тела в однородном внешнем поле.
- 18) Плотность свободной энергии в магнитной среде, выраженная через макроскопические поля.
- 19) Свободная энергия куска магнетика в однородном внешнем поле.
- 20) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным объемом.
- 21) Независимо флуктуирующие термодинамические параметры в системах с фиксированным числом частиц

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Задача 1.1 Найти максимальную работу при полном снятии конечной механической неравновесности в термически равновесной системе с двумя объемами, содержащими одинаковое число молей одинакового идеального газа, теплоемкость которого не зависит от температуры. Тепловой контакт между подсистемами идеальный, полный объем системы должен вернуться после процесса к прежнему значению.

а) случай адиабатической внешней оболочки;

б) случай идеального теплового контакта с внешним термостатом.

Задача 1.2 Определить связь между химическим потенциалом и плотностью ультрарелятивистского идеального газа в условиях применимости распределения Больцмана для средних чисел заполнения. Найти при каких плотностях и температурах газа применимо приближение Больцмана.

Задача 1.3 Найти статистическую сумму для 3D осциллятора двух тождественных частиц для случаев, когда спин одной частицы равен  $3/2$ . Сравнить результат с квазиклассическим статистическим интегралом.

Задача 2.1 Показать, что для идеального газа, теплоемкость которого не зависит от температуры, химический потенциал может быть представлен в виде:  $\mu = T \ln P - c_p T \ln T - \zeta T + \varepsilon_0$ , где  $\zeta$  и  $\varepsilon_0$  – постоянные, которые необходимо выразить, через параметры функции Гамильтона

Задача 2.2 Определить теплоемкость идеального газа, состоящего из двухатомных молекул, если потенциальная энергия взаимодействия атомов в молекуле задается в виде:  $U \propto \rho^2$ , где  $\rho$  – расстояние между атомами.

Задача 2.3 Найти изменение ёмкости конденсатора, заполненного средой с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_1$ , при включении в неё шарообразных частиц с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_2$ , радиусом  $r$  и концентрацией  $n$ .

Задача 3.1 В рамках реалистической модели изотермического горения топлива (предполагая каждую компоненту идеальным газом с постоянной теплоемкостью) определить режим идеального выхлопа (итоговое расширение рабочей порции газа количество теплоты, переданное в термостат).

Задача 3.2 Определить теплоемкость нерелятивистского идеального газа, внутренние квантовые состояния молекул которого характеризуется энергетическим спектром:  $E_{n,m} = \varepsilon \cdot m^2$ , где квантовые числа  $m = 0, 1, 2, \dots$ . Считать, что температура газа  $T \gg \varepsilon$ , число молекул в системе равно  $N$ , а занимаемый газом объем равен  $V$ .

Задача 3.3 Определить температуру конденсации нерелятивистского идеального газа тождественных бозонов. Найти уравнения состояния, энтропию и свободную энергию этого газа при температуре ниже температуры конденсации.

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

а) основная литература:

1) Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1983. - 416 с. – 46 экз.



- 2) Теоретическая физика. Том 5. Статистическая физика [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 5-е изд., стереот.- М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922100540.html>
- 3) Теоретическая физика. Том 9. Статистическая физика. Ч.2. Теория конденсированного состояния. [Электронный ресурс]: Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. - 4-е изд., исправл. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2004. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922102966.html>
- 4) Румер Ю. Б., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика: [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - М.: Наука, 1972. - 400 с. — 32 экз.

б) дополнительная литература:

- 1) Семенов В.Е., Дорожкина Д.С. Лекции по термодинамике и статистической физике с примерами и задачами. Часть первая. Н.Новгород: ИПФ РАН, 2003. — 300 экз. (деканат ВШОПФ)
- 2) Ансельм, А.И. Основы статистической физики и термодинамики. — СПб. : Лань, 2007. — 448 с. — Режим доступа: ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com/book/692>
- 3) Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории. [Электронный ресурс] / Кондратьев А.С., Райгородский П.А. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2007. - <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922108768.html>

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

- 1) Учебно-образовательная физико-математическая библиотека EqWorld <http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/statphys.htm>
- 2) Электронная библиотека Института космофизических исследований и астрономии им. Ю.Г. Шафера (ИКФИА) <http://ikfia.ysn.ru/lektsii-i-obzory-dlya-studentov/9-uncategorised/766-stat-fizik.html>
- 3) В.П. Смирнов КУРС СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ. Конспект лекций - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2010. - 102 с. Учебные издания Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики: [http://books.ifmo.ru/book/613/kurs\\_statisticheskoy\\_fiziki.\\_konspekt\\_lekciy.htm](http://books.ifmo.ru/book/613/kurs_statisticheskoy_fiziki._konspekt_lekciy.htm)

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

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

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 ФГОС ВО по направлению 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Дорожкина Д.С., Кукушкин В.А.

Заведующий кафедрой:

Программа одобрена на заседании методической комиссии  
ВШОПФ от 30.06.2021, протокол № 3.