

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Высшая школа общей и прикладной физики

Программа утверждена решением президиума
Ученого совета ННГУ
протокол от «14» декабря 2021г. № 4.

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

2022 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Б1.О.11.04 «Статистическая физика и термодинамика» относится к обязательной части ООП 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;	Демонстрация способности применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности	Знать основы классической статистической физики равновесных систем; термодинамическое (феноменологическое) описание равновесного состояния макроскопических систем и квазистатистических процессов; свойства необратимых процессов приближения к термодинамическому равновесию; условия равновесия и устойчивости термодинамических систем; характеристики флуктуаций в равновесных системах; основы квантовой статистической физики. Уметь пользоваться законами термодинамики и статистическими распределениями для расчета термодинамических параметров равновесных систем и их флуктуаций, для описания квазистационарных процессов в термодинамических системах. Владеть навыками решения задач, основываясь на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях и умениях.	Собеседование и задачи (практические задания)

ОПК-3: Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	Демонстрация способности использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	Знать базовые принципы работы современных информационных технологий Уметь применять полученные знания термодинамики и статистической физики для решения задач профессиональной деятельности Владеть навыками научно-исследовательской работы с применением современных информационных технологий	Собеседование и задачи (практические задания)
--	---	--	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

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

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				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	

	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 использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности

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 компетенции)	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 ошибки.	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 минимальных умений. Невозможность оценить наличие	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные

	умений вследствие отказа обучающегося от ответа	умения. Имели место грубые ошибки.	негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован 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)

5.2.1 Контрольные вопросы

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

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

Типовые задания для оценки сформированности компетенции ОПК-1, ОПК-3:

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 ζ и ε_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 ρ – расстояние между атомами.

Задача 2.3 Найти изменение ёмкости конденсатора, заполненного средой с диэлектрической проницаемостью ε_1 , при включении в неё шарообразных частиц с диэлектрической проницаемостью ε_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

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/ОС ННГУ 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.