

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Линник Оксана Владимировна  
Должность: Руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ  
Дата подписания: 12.10.2023  
Уникальный программный ключ:  
d85fa2f259a0913da9b08199085801756430181f

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Снежинский физико-технический институт -  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения  
высшего образования  
**«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
(СФТИ НИЯУ МИФИ)»**

«УТВЕРЖДАЮ»  
Зам. руководителя по учебной  
и научно-методической работе  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020г.  
\_\_\_\_\_ П. О. Румянцев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Теоретическая физика: статистическая физика

наименование дисциплины

Направление подготовки (специальность) 14.04.02 «Ядерная физика и технологии»

Профиль подготовки «Теоретическая физика (статистическая физика)»

Квалификация (степень) выпускника бакалавр

Форма обучения очная

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью освоения учебной дисциплины «Теоретическая физика (статистическая физика)» является ознакомление студентов с понятиями и методами статистической физики; получение навыков изучения физических явлений с микроскопической точки зрения; установление связи между макро (термодинамическим) и микроописанием, умение применять статистические методы в решении практических задач, а также освоение базовых приёмов компьютерного моделирования некоторых классических статистических систем.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Дисциплина "Теоретическая физика (статистическая физика)" относится к вариативной части блока Б1 ООП ВО 14.03.02 «Ядерная физика и технологии» и является частью естественнонаучного модуля. Статистическая физика является основой современной физики, цель которой состоит во всестороннем исследовании физических явлений с микроскопической точки зрения. Для решения прикладных задач необходимо знать свойства среды в таких условиях, которые сильно затрудняют или даже исключают непосредственное измерение. В таких случаях очень важно уметь правильно оценивать возможности теоретических методов и рамки их применения.

Содержание дисциплины «Теоретическая физика (статистическая физика)» составлено на основе учебников, сборников задач, курсов лекции, монографий, предназначенных для студентов, аспирантов и преподавателей физических специальностей. В основу курса положен дедуктивный способ описания макромира, исходя из представлений об атомном и молекулярном строении вещества. Освоение динамических законов происходит в сочетании с основными принципами теории вероятности.

Перечень дисциплин, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины:

- 2.1. Общий курс физики (Б1.О.24).
- 2.2. Математика (Б1.О.23).
- 2.3. ТФКП (Б1.В.11).
- 2.4. Теория вероятности и математическая статистика (Б1.О.06).
- 2.5. Теоретическая физика (квантовая механика) (Б1.В.13.01).

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ / ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБРАЗОВАНИЯ И КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА ПО ЗАВЕРШЕНИИ ОСВОЕНИЯ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Компетентностная модель соответствует требованиям ОС ВО НИЯУ МИФИ по специальности 14.03.02 «Ядерная физика и технологии».

Данная дисциплина способствует формированию следующих компетенций:

ОПК-1 – способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования

ПК-19.1 – готов разрабатывать способы применения ядерно-энергетических установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- базовые понятия и законы статистической физики равновесных классических систем;
- метод канонического распределения;
- статистическую термодинамику классических и квантовых систем.

**Уметь:**

- использовать основные законы статистической физики в профессиональной деятельности, применять методы теоретического исследования;

**Владеть:**

- методологическими подходами к выбору теоретического инструментария, соответствующего решаемой задаче
- способностью к систематическому изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по соответствующему профилю подготовки.

#### 4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Семестр	Трудоем- кость, ЗЕТ	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Контроль, час.	СРС, час.	Форма контроля, экс./зачет
6	3	108	36	18	27	27	экс

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 ЗЕТ, 108 час.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	Недели	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттеста- ция раздела (неделя, форма)	Макс. балл за раз- дел
			Лекции	Практ. занятия/ семинары	Лаб. работы			
<b>6 семестр</b>								
1	Принципы статистической физики	1-6	12	6		Наличие конспектов, ответы на КВ, выполнение ДЗ		10
2	Метод канонического распределения	7- 12	12	6		Наличие конспектов, ответы на КВ, выполнение ДЗ	Коллок- виум 9	10 + 20
3	Статистическая термодинамика классических и квантовых систем	13- 18	12	6		Наличие конспектов, ответы на КВ, выполнение ДЗ		10

Всего		50
Экзамен		50
Итого за семестр		100

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Содержание / Темы занятий	Лек., час.	Пр./сем., час.
	<i>6 семестр</i>		
1-6	Микроскопические и макроскопические состояния. Статистическое описание Принцип априорной вероятности. Микроканонический ансамбль. Термодинамический вес макроскопического состояния. Наиболее вероятное состояние, флуктуации Число состояний и плотность состояний Фазовое пространство. Гамильтониан. Уравнение Лиувилля Усреднение по времени и по ансамблю. Эргодическая гипотеза	12	6
7-12	Контакт между системами. Равновесие между системами. Энтропия и температура Каноническое и большое каноническое распределения Основные законы термодинамики Статистические суммы и термодинамические функции Классические конфигурационные интегралы	12	6
13-17	Статистическая сумма идеального газа Вычисление термодинамических свойств идеальных газов Распределение Максвелла-Больцмана Влияние поступательного, вращательного и колебательного движения на термодинамические свойства газов Смеси идеальных газов Взаимодействие молекул. Адиабатические столкновения, потенциал взаимодействий Скорость химических реакций Кинетические характеристики процессов переноса в газах Коэффициенты переноса в газах Статистическая термодинамика квантовых газов. Случаи сильного и слабого вырождения Статистическая термодинамика равновесного излучения	12	6
18	Экзамен		3

### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Неделя	<i>6 семестр</i>
1	Определение случайной величины, микроскопическое и макроскопическое описание изолированных систем молекул идеального газа и одномерной цепочки магнитных моментов. Вычисление термодинамической вероятности нахождения системы при заданном макропарамetre, количества доступных состояний, наиболее вероятного значения макропарамetra. Применение формулы Стирлинга для вычисления числа состояний системы с большим количеством частиц.

	Домашнее задание: решение задач.
2	Микросостояния изолированной системы идеального одноатомного газа. Объем одного квантового состояния. Количество состояний одной молекулы, находящейся в объеме $V$ , с энергий в диапазоне $[E, E+dE]$ . Степень вырождения энергетического уровня. Количество состояний $N$ молекул в объеме $V$ с энергией в диапазоне $[E, E+dE]$ . Число состояний и плотность состояний. Домашнее задание: решение задач.
3	Неизолированные системы. Виды контактов между системами в термодинамике и статистической физике. Вывод условия теплового равновесия двух систем. Определение температуры. Статистическая энтропия. Домашнее задание: решение задач.
4	Моделирование одномерного случайного блуждания. Домашнее задание: написание и отладка программы. Сравнение численного и аналитического решений
5	Вычисление количества состояний и их энергии в изолированной системе магнитных моментов, состоящей из двух подсистем, находящихся в равновесии. Домашнее задание: решение задач.
6	Вычисление вероятности микросостояния системы, находящейся в контакте с термостатом – распределения Гиббса. Вероятность энергетического уровня. Квантовое и квазиклассическое представления нормирующего множителя. Статистическая сумма, статистический интеграл. Домашнее задание: решение задач.
7	Вычисление равновесного значения магнитного момента парамагнитной системы, находящейся во внешнем магнитном поле при температуре $T$ . Закон Кюри. Условие температурного равновесия, средняя энергия, приходящаяся на одну частицу. Домашнее задание: решение задач.
8	Адиабатический контакт двух систем. Определение параметров равновесного состояния идеального газа при постоянном внешнем давлении. Домашнее задание: решение задач.
9	Моделирование установления равновесного состояния в одномерной цепочке магнетиков методом Изинга. Домашнее задание: написание и отладка программы. Сравнение численного и аналитического решений
10	Применение распределения Гиббса для системы идеального газа. Распределение Максвелла по энергии. Вычисление наиболее вероятного, среднего значения энергии одной молекулы и в случае $N$ молекул. Вычисление флуктуации энергии одной молекулы и $N$ молекул. Домашнее задание: решение задач, подготовка к коллоквиуму
11	Распределение Максвелла молекул идеального газа по скоростям. Вычисление средней скорости, наиболее вероятной скорости, среднеквадратичной скорости. Применение теоремы о равномерном распределении кинетической энергии по степеням свободы. Домашнее задание: решение задач
12	Частота ударов молекул идеального газа о стенку. Кинетическое обоснование закона Дальтона. Распределение Максвелла молекул идеального газа по скорости, направленной под углом к одной из осей, и по скорости в направлении телесного угла. Энергия пучка молекул идеального газа, вылетающего из отверстия в вакуум. Домашнее задание: решение задач
13	Распределение Больцмана молекул идеального газа по координатам. Вычисление концентрации молекул идеального газа, находящихся в

	однородном поле силы тяжести. Оценка поведения концентрации молекул у дна сосуда в предельных случаях низких и высоких температур. Вычисление средней потенциальной энергии, приходящейся на одну молекулу. Изотермическая модель атмосферы Земли, оценка числа молекул в атмосфере. Домашнее задание: решение задач
14	Реализация алгоритма Метрополиса для моделирования установления равновесного состояния $N$ частиц идеального газа, находящихся при температуре $T$ . Домашнее задание: написание и отладка программы. Сравнение численного и аналитического решений
15	Уравнение движения в форме Гамильтона. Вычисление элемента объема фазового пространства. Фазовая траектория. Проверка справедливости теоремы Лиувилля. Домашнее задание: решение задач
16	Вычисление квантовых и квазиклассических статистических сумм в приближении канонического ансамбля. Вычисление термодинамических параметров Домашнее задание: решение задач
17	Газокинетические коэффициенты. Вычисление свободного пробега молекулы идеального газа по модели «твердых сфер» и при наличии адиабатического потенциала взаимодействия Домашнее задание: Подготовка к экзамену.
18	Предэкзаменационная консультация.

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции:

1. комплект электронных презентаций/слайдов;
2. аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук);

Семинары:

Занятия проводятся в интерактивной форме общения студентов между собой при поиске метода решения поставленной задачи. Преподаватель обеспечивает постановку задач и консультационное сопровождение методов решения. После каждого занятия выдается домашнее задание. Если возникают затруднения с его выполнением, на следующем занятии проводится консультация. В течение семестра предусмотрены индивидуальные консультации посредством обмена сообщениями между преподавателем и студентом по электронной почте. Для получения численного решения преподаватель обеспечивает постановку задачи, описание и обоснование алгоритма ее решения, процедуру оценки точности полученного численного решения и сравнения его с аналитическим решением (если оно существует). Завершения выполнения вычислительного эксперимента является частью самостоятельной работы студента.

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль. – Каждая тема лекции обеспечена контрольными вопросами. Проверка усвоения теоретического материала осуществляется 15-ти минутным контролем

в начале каждой лекции (8 тестовых заданий за семестр). Регулярно проводится проверка выполнения домашних заданий.

Рубежный контроль. – В середине семестра проводится коллоквиум. Студенты отвечают на один теоретический вопрос и решают задачу.

Итоговый контроль. - В конце семестра проводится экзамен.

Студенты полностью обеспечены домашними заданиями и пособиями по всем разделам учебной дисциплины.

## **7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **а) ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Кубо Р., Статистическая механика. М.: Мир, 1967.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика, М.: Наука, 1964.
3. Ансельм А.И., Основы статистической физики и термодинамики. М.: Наука, 1973.
4. Kadanov L.P., Statistical Physics. World Scientific, 1999.
5. Кондратьев А.С., Романов В.П., Задачи по статистической физике. М.: Наука, 1992.

### **б) ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. Коткин Г.Л., Лекции по статистической физике. Новосиб. ун-т, 1999.
2. Waleska J.D., Fundamentals of Statistical Mechanics. World Scientific, 1989.
3. Kubo R., Toda M., Hasitsume N., Statistical Physics II. Springer-Verlag, 1979.
4. Задачи по термодинамике и статистической физике под ред. П.П. Ландсберга. М.: Мир, 1974.
5. Гулд Х., Тобочник Я., Компьютерное моделирование в физике. М.: Мир, 1990.
6. Биндер Л., Хеерман Д.В., Моделирование методом Монте-Карло в статистической физике. М.: Наука, Физматлит, 1995.

### **в) ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

Специальное программное обеспечение не требуется.

## **8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется.

Мультимедийная аудитория (Л-318). Компьютерный класс, оснащённый компьютерами с выходом в Интернет, а также принтером, сканером, ксероксом:

- Core Dual 2,4 МГц (2009 г.) - 15 шт.
- Принтер HP LJ P3005 DN (2009 г.) - 1 шт.
- Сканер HP SJ 4370 – 1 шт.
- Ноутбук Samsung (2008)
- Проектор ASER X1260 (2008)

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по направлению подготовки 14.04.02 «Ядерная физика и технологии», утвержденного Ученым советом НИЯУ МИФИ 31.05.2018 г., протокол №18/03.

Автор(ы): преподаватель Фальков Андрей Леонидович,  
преподаватель к.ф.-м.н., Глазырин Игорь Валерьевич,  
Котова Ольга Георгиевна, Хмелев Артём Вадимович.

Рецензент: \_\_\_\_\_

Программа одобрена на \_\_\_\_\_