

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Теплофизика

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
СТАТИСТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.05
Трудоемкость в зачетных единицах:	6 семестр - 4;
Часов (всего) по учебному плану:	144 часа
Лекции	6 семестр - 14 часов;
Практические занятия	6 семестр - 42 часа;
Лабораторные работы	не предусмотрено учебным планом
Консультации	6 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	6 семестр - 85,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая:	
Контрольная работа	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	6 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Бобров В.Б.
	Идентификатор	R84cde94f-BobrovVB-6549f943

(подпись)

В.Б. Бобров

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Яньков Г.Г.
	Идентификатор	Rbb1f0c84-YankovGG-11a2e4dc

(подпись)

Г.Г. Яньков

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Герасимов Д.Н.
	Идентификатор	Ra5495398-GerasimovDN-6b58615

(подпись)

Д.Н. Герасимов

(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Целью освоения курса "Статистическая физика" является изучение основных физических законов поведения систем многих частиц, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и основных методов вычисления термодинамических свойств веществ

Задачи дисциплины

- Освоение основных законов поведения классической системы многих частиц;
- Освоение основных законов поведения квантовой системы многих частиц;
- Изучение вероятностных методов описания систем многих частиц;
- Освоение основных постулатов статистической физики;
- Освоение основных методов вычисления термодинамических свойств веществ.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-3 Способен проводить расчеты теплофизических характеристик процессов, протекающих в конкретных технических устройствах и аппаратах энергетического оборудования	ИД-2 _{ПК-3} Владеет навыками расчета теплофизических свойств рабочих тел, используемых в энергетическом оборудовании	знать: - Основных методы вычисления термодинамических свойств веществ; - Основные законы классической и квантовой механики для систем многих частиц и основные постулаты статистической физики; - Вероятностные методы описания систем многих частиц. уметь: - Применять вероятностные методы для исследования термодинамических свойств веществ; - Использовать основные законы классической и квантовой механики и основные постулаты статистической физики для описания термодинамических свойств веществ ;.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Теплофизика (далее – ОПОП), направления подготовки 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать – основы дифференциального и интегрального исчисления; – основы теории функций многих переменных; – основные законы классической механики для материальной точки; – основные законы квантовой механики для материальной точки; – основы теории вероятностей; – основные постулаты термодинамики

- уметь – вычислять однократные и многократные интегралы; – решать дифференциальные уравнения; – решать задачи по кинематике, статике и динамике материальной точки; – решать уравнение Шредингера для материальной точки; – решать задачи по теории вероятностей; – решать задачи по термодинамике.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Введение. Основы классической механики для систем многих частиц	18	6	2	-	8	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 9-17; [2], параграфы 1-9, 40, 42-46 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с. 2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика / Теоретическая физика. Т. 1. - М.: Физматлит, 2012. – 224 с.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Что является предметом статистической физики? Каково соотношение между макроскопическим и микроскопическим уровнями описания? - Что означает понятие термодинамического равновесия? Сформулируйте начала термодинамики. - Сформулируйте свойство термодинамической транзитивности для равновесной системы. Какую характеристику равновесного состояния можно ввести, используя свойство термодинамической транзитивности? - Сформулируйте понятие термодинамического предельного перехода для равновесной системы. На какие два</p>
1.1	Основы феноменологической термодинамики	9		1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	
1.2	Постулаты классической механики для систем многих частиц	9		1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	

													<p>дифференцированием ее энергии Гиббса? - Установите связь между химическим потенциалом равновесной системы и ее энергией Гиббса. - Используя начала термодинамики, запишите полный дифференциал для термодинамического потенциала Гиббса системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия. Используя начала термодинамики, запишите полный дифференциал для термодинамического потенциала Гиббса системы, находящейся в состоянии термодинамического равновесия, и установите независимые переменные, от которых зависит термодинамический потенциал Гиббса равновесной системы. Какие термодинамические функции равновесной системы могут быть вычислены дифференцированием ее термодинамического потенциала Гиббса? - Установите связь между давлением равновесной системы и ее термодинамическим потенциалом Гиббса. - Докажите справедливость основного термодинамического равенства: $TS = E + PV - \mu(N)$. - Сформулируйте законы Ньютона. Можно ли доказать справедливость законов Ньютона? - Сформулируйте принцип наименьшего действия. Можно ли доказать справедливость этого принципа, используя законы Ньютона? - Запишите функцию Лагранжа для механической системы, состоящей из N материальных точек. Можно ли функцию Лагранжа определить точно? Почему потенциальная энергия механической системы зависит только от пространственного положения материальных точек? - Дайте определение понятию интеграла движения. Чему равно количество независимых и аддитивных интегралов</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

																<p> движения в замкнутой механической системе? Является ли функция Лагранжа аддитивной величиной? - Какие свойства времени и пространства приводят к законам сохранения энергии, импульса и момента импульса? - Дайте определение энергии механической системы, используя функцию Лагранжа. Как связана энергия движущейся с заданной скоростью механической системы с ее внутренней энергией, если известна масса всех частиц системы? - Дайте определение «собственного момента» механической системы. Как связан момент импульса движущейся с определенным импульсом механической системы с ее собственным моментом? - Определите функцию Гамильтона для механической системы через ее функцию Лагранжа. Запишите полный дифференциал функции Гамильтона и на этой основе найдите уравнения Гамильтона для такой системы. - Запишите уравнение движения для динамической переменной (функции) и получите из него уравнения Гамильтона. - Используя уравнение движения для динамической переменной (функции), докажите закон сохранения энергии для механической системы, находящейся во внешнем потенциальном поле. - Из каких условий определяется значение энергии замкнутой механической системы? - Дайте определения оператора Пуассона и оператора эволюции. Запишите уравнение движения для динамической переменной (функции) с использованием оператора Пуассона, а также решение этого уравнения с использованием оператора Грина. - Найдите оператор, обратный оператору эволюции. С этой целью докажите, что оператор, обратный оператору $\exp(F^{\wedge})$, равен </p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

													<p>$\exp(-F^{\wedge})$. Для доказательства используйте операторное равенство $\exp(A^{\wedge}+B^{\wedge})=\exp(A^{\wedge})\exp(B^{\wedge})\exp(-1/2 [A^{\wedge},B^{\wedge}])$, которое справедливо в случае, когда коммутатор $[A^{\wedge},B^{\wedge}]$ двух операторов A^{\wedge} и B^{\wedge} является с – числом. Некоторый оператор G^{\wedge} является с – числом, если $G^{\wedge}=g1^{\wedge}$, где g – некоторое число, вообще говоря, комплексное.</p> <p>Например, с – числом является оператор $[\partial/\partial x, x1^{\wedge}]$. - Дайте определение фазового объема. Сформулируйте теорему Лиувилля для фазового объема замкнутой механической системы. Какими динамическими переменными (функциями) определяется поверхность, ограничивающая фазовый объем замкнутой системы?</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 1-48</p>
2	Элементы теории вероятностей	9	1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>
2.1	Элементы теории вероятностей	9	1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p>Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 1,2,6 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Сформулируйте аксиомы теории вероятностей. Сравните априорное определение вероятности с ее частотной интерпретацией. - Дайте определения среднего значения, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для случайной величины. - Дайте определения средних значений и матрицы ковариаций для многомерной случайной величины. - Дайте определение условной вероятности и сформулируйте условие статистической</p>

														<p>независимости двух случайных величин. - Сформулируйте понятие плотности вероятности для непрерывной случайной величины. Дайте определения среднего значения, дисперсии и среднеквадратичного отклонения для непрерывной случайной величины. - Определите вероятность того, что в результате трех бросаний игральной кости будет набрано в сумме 10 очков. - Найдите среднее значение и дисперсию случайной величины с биномиальным распределением. - Найдите среднее значение и дисперсию случайной величины с распределением Пуассона. - Математический маятник совершает гармонические колебания по закону $\varphi = \varphi_0 \cos(2\pi/T t)$, где $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ – период колебаний маятника длиной l в поле силы тяжести с ускорением свободного падения g. Найдите вероятность того, что при случайном измерении отклонения маятника на угол φ это значение будет находиться в интервале $[\varphi, \varphi + d\varphi]$. - Вероятность того, что для некоторой системы значения величин x и y лежат в интервале $[x, x+dx]$ и $[y, y+dy]$, дается выражением $dW(x,y) = C \exp[-\alpha(x^2 + y^2)] dx dy$, $\alpha > 0$. Считая, что областями изменения переменных x и y являются $(-\infty, \infty)$ и $(-\infty, \infty)$, найдите нормировочную постоянную C, а также вероятность того, что значение величины x будет находиться в интервале $[x, x+dx]$. - При термоэлектронной эмиссии происходит вылет электронов с поверхности металла или полупроводника. Предполагая, что а) вылеты электронов являются статистически независимыми событиями и б) вероятность вылета одного электрона за бесконечно малый промежуток времени dt равна λdt, где λ – постоянная величина, определите вероятность вылета N</p>
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---

														<p>электронов за время t. - Предполагая, что в некоторой системе распределение числа частиц N во времени имеет вид $P_N(t) = (\lambda t)^N / N! \exp(-\lambda t)$, где $\lambda > 0$ – неизвестная постоянная, определите среднеквадратичную флуктуацию числа частиц при условии, что среднее число частиц в единицу времени равно n_0. - Рассмотрите распределение Пуассона для числа частиц в предельном случае, когда $n \gg 1, \Delta n = n - \bar{n} \ll n$. - Дайте определение случайного процесса и процесса Маркова.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 1-48</p>
3	Основные положения классической статистической механики	9	1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 28, 29, 31 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Сформулируйте основной постулат классической статистической механики. Запишите уравнение Лиувилля для функции распределения. Установите соответствие между наблюдаемой макроскопической величиной и соответствующей ей динамической переменной. - Сформулируйте эргодическую теорему Больцмана по Г. Биркгофу. От каких динамических функций зависит равновесная функция распределения? - Сформулируйте принцип равных априорных вероятностей и запишите микроканоническое распределение для макроскопической системы, которая описывается классической механикой. -</p>	
3.1	Основные положения классической статистической механики	9	1	-	4	-	-	-	-	-	4	-	<p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Сформулируйте основной постулат классической статистической механики. Запишите уравнение Лиувилля для функции распределения. Установите соответствие между наблюдаемой макроскопической величиной и соответствующей ей динамической переменной. - Сформулируйте эргодическую теорему Больцмана по Г. Биркгофу. От каких динамических функций зависит равновесная функция распределения? - Сформулируйте принцип равных априорных вероятностей и запишите микроканоническое распределение для макроскопической системы, которая описывается классической механикой. -</p>	

													<p>вероятность того, что две частицы в классическом газе имеют абсолютную величину скорости относительного движения $v^{\wedge}=v_1-v_2$ в интервале $[v^{\wedge}, v^{\wedge}+dv^{\wedge}]$. Определите среднее значение абсолютной величины скорости относительного движения (v^{\wedge}).</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 10-50 [4], 1-48</p>
4	Основы квантовой механики для систем тождественных частиц	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u></p> <p>Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 54, 55, 61-65</p> <p>Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u></p> <p>Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Каким образом следует решать стационарное уравнение Шредингера для системы различных частиц, которые не взаимодействуют друг с другом? - Установите связь между волновыми функциями свободной частицы в координатном и импульсном представлениях. Запишите операторы координаты и импульса в координатном и импульсном представлениях. - Дайте определение спина микрочастицы. Каковы собственные значения оператора квадрата спина и его проекции на ось z? Как определить полный момент частицы? - Дайте определения полной волновой функции микрочастицы и обобщенной переменной. Чему равна вероятность того, что свободная частица имеет определенную проекцию спина? Чему равна плотность вероятности</p>
4.1	Основы квантовой механики для систем тождественных частиц	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-	

													<u>источников:</u> [3], 5-75 [4], 1-48
5	Основные положения квантовой статистической теории	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 5-8, 28, 31, 35,36 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с.
5.1	Основные положения квантовой статистической теории	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Каковы особенности квантово-механического описания макроскопического тела? - Дайте определение понятию следа оператора. Запишите среднее значение наблюдаемой физической величины с использованием статистического оператора. - Используя определение среднего значения наблюдаемой физической величины и уравнение Гейзенберга для динамики оператора, выведите уравнение фон Неймана для статистического оператора. - Сформулируйте принцип равных априорных вероятностей для квантовой статистики. Запишите микроканоническое распределение для замкнутой квантовой системы и выражение для ее энтропии. - Запишите каноническое распределение для квантовой системы и выражения для квантовой статистической суммы, энергии Гельмгольца, энтропии, давления и химического потенциала. - Используя каноническое распределение, определите относительную флуктуацию средней энергии квантовой системы. - Запишите выражение для статистической суммы в квазиклассическом приближении и вычислите ее значение для идеального газа. -

													Используя каноническое распределение, выведите распределение Максвелла – Больцмана. - Используя большое каноническое распределение, запишите выражение для большой статистической суммы и установите ее связь с термодинамическим потенциалом Гиббса квантовой системы. - Запишите выражения для энтропии, давления и среднего числа частиц, используя термодинамический потенциал Гиббса. - Используя большое каноническое распределение, определите относительную флуктуацию полного числа частиц квантовой системы. - Найдите уравнение состояния, внутреннюю энергию и теплоемкость C_V квазиклассического идеального газа из N частиц массы m , используя каноническое распределение. - Используя распределение Максвелла, определите давление классического идеального газа на стенку сосуда, в котором он находится, если известна температура T и плотность числа частиц ρ газа. - Разреженный газ находится в сосуде при давлении P . Определите скорость истечения $v_{ист}$ частиц газа в вакуум через небольшое отверстие площадью S_0 на основе распределения Максвелла по скоростям. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [4], 1-48
6	Квантовые идеальные газы частиц	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>
6.1	Квантовые идеальные газы частиц	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-	Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 53, 54, 57, 58,62 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u>

															приходящуюся на единицу объема, при температуре $T < T_0$, где T_0 – температура конденсации Бозе–Эйнштейна. - Определите температурную зависимость плотности числа частиц с импульсом $p=0$ (плотности конденсата Бозе–Эйнштейна) в идеальном газе бозонов с нулевым спином при заданной плотности числа частиц ρ и температурах $T < T_0$, где T_0 – температура конденсации Бозе–Эйнштейна <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], 1-48
7	Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-			<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 37, 38, 41-51 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с.
7.1	Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана	16	2	-	6	-	-	-	-	-	8	-			<u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Сформулируйте приближение Больцмана для вычисления канонической статистической суммы. Запишите статистическую сумму идеального газа в приближении Больцмана через статистическую сумму одной частицы. - Вычислите статистическую сумму для поступательных степеней свободы частицы в идеальном газе в приближении Больцмана. - Дайте определение понятию характеристической температуры. Каковы значения характеристических температур поступательных, электронных, колебательных и вращательных степеней свободы для молекул? При каком соотношении между температурой газа и характеристической температурой

													«гармонический осциллятор». <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [5], 1-48 [6], 115-150
8	Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Самостоятельное изучение теоретического материала [1], параграфы 74-76 Литература 1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.
8.1	Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа	12	2	-	4	-	-	-	-	-	6	-	Статистическая физика. Ч.1 / Теоретическая физика. Т. 5. - М.: Физматлит, 2010. – 616 с. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Подготовка ответов на вопросы и к решению задач: - Изобразите качественный вид потенциала межатомного / межмолекулярного взаимодействия для неполярных молекул. Укажите характерное значение глубины потенциальной «ямы». Что характеризует величина радиуса межатомного / межмолекулярного взаимодействия? Укажите его характерное значение. Приведите примеры модельных потенциалов межатомного / межмолекулярного взаимодействия. - Сформулируйте основное свойство групповой функции. Чему равен групповой интеграл, от каких термодинамических параметров он зависит? - Дайте определение конфигурационного интеграла и установите его связь с групповыми интегралами. На этой основе запишите групповое разложение для термодинамического потенциала Гиббса. Чем отличается групповое разложение для квантовых идеальных газов от группового разложения для квазиклассического неидеального газа? - На основе группового разложения для термодинамического потенциала Гиббса запишите групповые

														<p>разложения для давления и плотности. - Чем отличаются групповые и вириальные разложения для термодинамических функций? Установите связь между вторым групповым интегралом и вторым вириальным коэффициентом. - Какова зависимость второго вириального коэффициента от температуры? Дайте определение температуры Бойля. - Сформулируйте понятие термодинамического подбоя. Запишите выражение для безразмерного второго вириального коэффициента с использованием модельного потенциала Леннарда-Джонса. - Вычислите второй вириальный коэффициент как функцию температуры для неидеального квазиклассического газа частиц, потенциальная энергия взаимодействия которых имеет вид: $\Phi_2(r) = \infty, r < d$; $\Phi_2(r) = 0, r > d$ (система твердых сфер диаметром d). - Вычислите второй вириальный коэффициент как функцию температуры для неидеального квазиклассического газа частиц, потенциальная энергия взаимодействия которых имеет вид: $\Phi_2(r) = \alpha r^{-\gamma}, \alpha > 0, \gamma > 3$. - Определите температуру Бойля для неидеального квазиклассического газа частиц, взаимодействие между которыми задается потенциалом прямоугольной потенциальной ямы: $\Phi_2(r) = \infty, 0 < r < \sigma$; $\Phi_2(r) = -\varepsilon, \sigma < r < \gamma\sigma$; $\Phi_2(r) = 0, r > \gamma\sigma$ ($\gamma > 1, \varepsilon > 0$).</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[2], 160-200 [5], 1-48</p>
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5		
	Всего за семестр	144.0	14	-	42	-	2	-	-	0.5	52	33.5		

	Итого за семестр	144.0		14	-	42	2	-	0.5	85.5	
--	------------------	-------	--	----	---	----	---	---	-----	------	--

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Введение. Основы классической механики для систем многих частиц

1.1. Основы феноменологической термодинамики

Два уровня описания явлений природы. Предмет статистической физики. Законы (начала) термодинамики. Термодинамические потенциалы.

1.2. Постулаты классической механики для систем многих частиц

Законы Ньютона как постулаты классической механики. Принцип наименьшего действия. Функция Лагранжа. Уравнения Лагранжа. Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Функция Гамильтона. Уравнения Гамильтона. Зависимость динамических переменных от времени. Скобки Пуассона. Интегралы движения. Фазовое пространство. Оператор эволюции замкнутой системы. Канонические преобразования. Теорема Лиувилля.

2. Элементы теории вероятностей

2.1. Элементы теории вероятностей

Понятие вероятности. Аксиоматика теории вероятностей. Случайные переменные. Среднее значение, дисперсия, матрица ковариаций. Континуальный предел. Непрерывные случайные переменные. Биномиальное распределение. Распределения Гаусса и Пуассона. Случайные процессы.

3. Основные положения классической статистической механики

3.1. Основные положения классической статистической механики

Функция распределения в фазовом пространстве. Основной постулат статистической механики. Уравнение Лиувилля для функции распределения. Эргодическая теорема. Мера в фазовом пространстве. Статистическая независимость. Аддитивные интегралы движения. Принцип равных априорных вероятностей. Микроканоническое распределение. Фазовый объем и термодинамические функции идеального классического газа. Функция распределения Максвелла. Парадокс Гиббса.

4. Основы квантовой механики для систем тождественных частиц

4.1. Основы квантовой механики для систем тождественных частиц

Волновая функция и уравнение Шредингера для системы различных частиц. Спин микрочастицы. Полная волновая функция. Тождественность микрочастиц. Фермионы и бозоны. Полная волновая функция для системы тождественных микрочастиц. Принцип Паули. Метод вторичного квантования для систем тождественных частиц. Эволюция во времени наблюдаемой величины. Представления Шредингера и Гейзенберга.

5. Основные положения квантовой статистической теории

5.1. Основные положения квантовой статистической теории

Особенности квантовой механики для макроскопического тела. Общие принципы квантовой механики в формализме Дирака. Полный набор экспериментов. Матрица плотности (статистический оператор). Основной постулат квантовой статистической механики. Уравнение фон Неймана. Равновесный статистический оператор. Микроканоническое распределение. Энтропия замкнутой системы. Каноническое распределение Гиббса. Квазиклассическое приближение. Энергия Гельмгольца и

термодинамические функции. Флуктуации. Распределение Максвелла–Больцмана. Барометрическая формула. Большое каноническое распределение Гиббса. Большой термодинамический потенциал Гиббса и термодинамические функции. Флуктуации.

6. Квантовые идеальные газы частиц

6.1. Квантовые идеальные газы частиц

Большая статистическая сумма для квантового идеального газа. Распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака. Общие соотношения для термодинамических функций квантового идеального газа. Переход к статистике Больцмана. Критерий вырождения. Вырожденный идеальный газ фермионов. Энергия Ферми. Вырожденный идеальный газ бозонов. Конденсация Бозе – Эйнштейна.

7. Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана

7.1. Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана

Приближение Больцмана для статистической суммы. Статистическая сумма для поступательных степеней свободы частицы. Свободная энергия и термодинамические функции идеального газа Больцмана. Характеристические температуры для внутренних степеней свободы. Модель «гармонический осциллятор – жесткий ротатор» для двухатомной молекулы. Статистические суммы в модели «гармонический осциллятор – жесткий ротатор». Уточнение модели «гармонический осциллятор – жесткий ротатор» для двухатомной молекулы. Модель «гармонический осциллятор – жесткий ротатор» для многоатомной молекулы.

8. Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа

8.1. Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа

Силы межмолекулярного взаимодействия. Конфигурационный интеграл для квазиклассического неидеального газа. Виримальное уравнение состояния неидеального газа. Виримальные коэффициенты. Термодинамическое подобие.

3.3. Темы практических занятий

1. Модель «гармонический осциллятор – жесткий ротатор» для двухатомной молекулы. Статистические суммы в модели «гармонический осциллятор – жесткий ротатор»;
2. Свободная энергия и термодинамические функции идеального газа Больцмана. Характеристические температуры для внутренних степеней свободы;
3. Приближение Больцмана для статистической суммы. Статистическая сумма для поступательных степеней свободы частицы;
4. Вырожденный идеальный газ фермионов. Энергия Ферми. Вырожденный идеальный газ бозонов. Конденсация Бозе – Эйнштейна;
5. Общие соотношения для термодинамических функций квантового идеального газа. Переход к статистике Больцмана. Критерий вырождения;
6. Большая статистическая сумма для квантового идеального газа. Распределения Бозе – Эйнштейна и Ферми – Дирака;
7. Каноническое распределение Гиббса. Квазиклассическое приближение. Энергия Гельмгольца и термодинамические функции. Флуктуации. Большое каноническое распределение Гиббса. Большой термодинамический потенциал Гиббса и термодинамические функции. Флуктуации;
8. Полный набор экспериментов. Матрица плотности (статистический оператор). Основной постулат квантовой статистической механики. Уравнение фон Неймана.

- Равновесный статистический оператор. Микроканоническое распределение. Энтропия замкнутой системы;
9. Силы межмолекулярного взаимодействия. Конфигурационный интеграл для квазиклассического неидеального газа;
 10. Метод вторичного квантования для систем тождественных частиц;
 11. Принцип равных априорных вероятностей. Микроканоническое распределение. Фазовый объем и термодинамические функции идеального классического газа. Функция распределения Максвелла. Парадокс Гиббса;
 12. Функция распределения в фазовом пространстве. Основной постулат статистической механики. Уравнение Лиувилля для функции распределения;
 13. Непрерывные случайные переменные. Биномиальное распределение. Распределения Гаусса и Пуассона;
 14. Аксиоматика теории вероятностей. Случайные переменные. Среднее значение, дисперсия, матрица ковариаций;
 15. Фазовое пространство. Интегралы движения. Теорема Лиувилля;
 16. Постулаты классической механики;
 17. Термодинамические потенциалы;
 18. Полная волновая функция для системы тождественных микрочастиц. Принцип Паули;
 19. Вириальное уравнение состояния неидеального газа. Вириальные коэффициенты. Термодинамическое подобие;
 20. Спин микрочастицы. Полная волновая функция. Тождественность микрочастиц. Фермионы и бозоны;
 21. Начала (постулаты) термодинамики.

3.4. Темы лабораторных работ не предусмотрено

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая разделы "Введение" и "Основы классической механики для систем многих частиц".
2. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем

разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Основы классической механики для систем многих частиц".

3. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Основные положения классической статистической механики".
4. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Основы квантовой механики для систем тождественных частиц".
5. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Основные положения квантовой статистической теории".
6. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении).. В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "квантовые идеальные газы частиц".
7. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной

электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Болцмана".

8. Вне рамок контрольных мероприятий текущий контроль осуществляется посредством устного опроса студентов, выступлений студентов у доски и обсуждения вопросов студентов на практических занятиях (либо письменных ответов студентов на контрольные вопросы и задания при дистанционном обучении). В случае, если у студента появились дополнительные вопросы, он может задать их преподавателю в письменном виде посредством корпоративной электронной почты НИУ «МЭИ». При необходимости консультация может быть продолжена в формате видеосвязи с использованием одной из интернет-платформ. Непосредственно перед экзаменом проводится групповая консультация по всем разделам и темам курса "Статистическая физика", включая раздел "Основы статистической теории квазиклассического неидельного газа".

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)								Оценочное средство (тип и наименование)	
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Знать:											
Вероятностные методы описания систем многих частиц	ИД-2ПК-3		+	+	+	+	+	+	+	+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие -1
Основные законы классической и квантовой механики для систем многих частиц и основные постулаты статистической физики	ИД-2ПК-3	+		+	+	+				+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие -2
Основных методы вычисления термодинамических свойств веществ	ИД-2ПК-3	+		+			+	+	+		Контрольная работа/Контрольное мероприятие - 3
Уметь:											
Использовать основные законы классической и квантовой механики и основные постулаты статистической физики для описания термодинамических свойств веществ ;	ИД-2ПК-3			+	+	+	+	+	+	+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие - 3
Применять вероятностные методы для исследования термодинамических свойств веществ	ИД-2ПК-3		+	+	+	+	+			+	Контрольная работа/Контрольное мероприятие -4

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

6 семестр

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольное мероприятие - 3 (Контрольная работа)
2. Контрольное мероприятие -1 (Контрольная работа)
3. Контрольное мероприятие -2 (Контрольная работа)
4. Контрольное мероприятие -4 (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №6)

Итоговая оценка (ИО) по курсу "Статистическая физика" выставляется на основании семестровой и экзаменационной составляющей и определяется как средневзвешенное значение следующих величин — балла текущего контроля (БТК) и оценки на экзамене (ОЭ):
 $ИО = 0,4 * БТК + 0,6 * ОЭ$.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т.1. Механика : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц . – 4-е изд., испр . – М. : Наука, 1988 . – 216 с. - ISBN 5-02-013850-9 .;
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика. В 10 т. Т.5. Статистическая физика. Ч.1. : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц . – 4-е изд., испр . – М. : Наука, 1995 . – 608 с. - ISBN 5-02-014423-1 : 15000.00 .;
3. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика: В 10 т. Т.3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) : Учебное пособие для физических специальностей университетов / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; Ред. Л. П. Питаевский . – 5-е изд., стереотип . – М. : Физматлит, 2001 . – 808 с. - ISBN 5-922100-57-2 .;
4. Бобров, В. Б. Основные положения равновесной статистической теории : учебное пособие по курсу "Статистическая физика" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. Б. Бобров, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2015 . – 48 с. - ISBN 978-5-7046-1605-4 .
http://elibr.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=7501;
5. Бобров, В. Б. Термодинамические функции квантовых идеальных газов : учебное пособие по курсу "Статистическая физика" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. Б. Бобров, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : Изд-во МЭИ, 2016 . – 48 с. - ISBN 978-5-7046-1672-6 .

http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=8184;

6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.- "Статистическая физика", (5-е изд., стер.), Издательство: "ФИЗМАТЛИТ", Москва, 2001 - (616 с.)

https://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2230.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. Acrobat Reader.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
2. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
3. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Ж-120, Машинный зал ИВЦ	сервер, кондиционер
	Т-209, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-209, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-209, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для самостоятельной работы	Т-412, Учебная лаборатория вычислительной техники	стол преподавателя, стол учебный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, компьютер персональный
Помещения для консультирования	Т-205, Учебная аудитория	стол преподавателя, стол учебный, стул, шкаф, доска маркерная
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-213, Подсобное помещение	

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Статистическая физика

(название дисциплины)

6 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Контрольное мероприятие -1 (Контрольная работа)

КМ-2 Контрольное мероприятие -2 (Контрольная работа)

КМ-3 Контрольное мероприятие -3 (Контрольная работа)

КМ-4 Контрольное мероприятие -4 (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	3	7	11	14
1	Введение. Основы классической механики для систем многих частиц					
1.1	Основы феноменологической термодинамики				+	
1.2	Постулаты классической механики для систем многих частиц			+		
2	Элементы теории вероятностей					
2.1	Элементы теории вероятностей		+			+
3	Основные положения классической статистической механики					
3.1	Основные положения классической статистической механики		+	+	+	+
4	Основы квантовой механики для систем тождественных частиц					
4.1	Основы квантовой механики для систем тождественных частиц		+	+	+	+
5	Основные положения квантовой статистической теории					
5.1	Основные положения квантовой статистической теории		+	+	+	+
6	Квантовые идеальные газы частиц					
6.1	Квантовые идеальные газы частиц		+		+	+
7	Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана					
7.1	Идеальный газ частиц с внутренними степенями свободы в приближении Больцмана		+		+	

8	Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа				
8.1	Основы статистической теории квазиклассического неидеального газа	+	+	+	+
Вес КМ, %:		15	30	30	25