

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет



УТВЕРЖДАЮ:  
Декан физического факультета

С.Н. Филимонов

«15» апреля 2021 г.

Рабочая программа дисциплины

**Термодинамика. Статистическая физика**

по направлению подготовки

**03.03.02 Физика**

Направленность (профиль) подготовки / специализация:  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**


Квалификация  
**Бакалавр**

Год приема  
**2021**

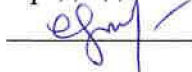
Код дисциплины в учебном плане: Б1.О.06.03

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-1 - способность применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;
- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 – способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-1.1. Знает основные законы, модели и методы исследования физических процессов и явлений;

ИОПК-2.1. Выбирает адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области, планирует проведение научных исследований;

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

- Освоить аппарат термодинамики и статистической механики.
- Научиться применять понятийный аппарат термодинамики и статистической физики для решения практических задач профессиональной деятельности.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к обязательной части образовательной программы.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 7, зачет.

Семестр 8, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: математический анализ, линейная алгебра и аналитическая геометрия, дифференциальные уравнения, математическая физика, классическая электродинамика.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

– лекции: 96 ч.;

– практические занятия: 32 ч.;

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## 8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам

### Тема 1. Основы термодинамики

Термодинамика и статистическая физика как физические теории тепловой формы движения материи. Краткие исторические сведения об основных этапах развития термодинамики и молекулярно-кинетической теории. Термодинамические системы и их основные особенности. Квазистатические процессы. Принцип энергии. Второе и третье начала термодинамики. Обратимые и необратимые процессы. Метод термодинамических функций. Термодинамические коэффициенты.

### Тема 2. Методы термодинамики и их применение

Идеальный газ и газ Ван-дер-Ваальса. Процессы Гей-Люссака и Джоуля-Томсона. Принципиальная схема действия тепловой машины. Коэффициент полезного действия тепловой машины. Теорема и максимальной работе. Теорема Карно. Тепловая машина, работающая с наибольшей мощностью. Равновесие и устойчивость открытых термодинамических систем. Физические последствия условий устойчивости. Составные термодинамические системы. Принцип максимума энтропии.

### Тема 3. Системы с переменным количеством вещества

Общие сведения о многокомпонентных системах. Фазы и компоненты. Условия равновесия фаз и направления фазовых переходов в многофазных и многокомпонентных системах. Правило фаз Гиббса. Равновесие двух фаз в однокомпонентной системе. Фазовые переходы 1 и 2 рода. Уравнения Клайпейрона-Клаузиуса и Эренфеста. Задача о химическом равновесии в газовой фазе. Закон действующих масс и правило вант-Гоффа. Термодинамика слабых растворов. Закон Рауля. Термоэлектрические явления.

### Тема 4. Основы статистической механики

Микроскопическое и макроскопическое состояние. Описание микроскопическое состояния в классической и квантовой механике. Функция распределения и статистический оператор. Временная эволюция смешанного состояния. Уравнение Лиувилля и уравнение фон Неймана. Эргодическая гипотеза. Микроканоническое распределение для замкнутой системы (классический и квантовый случай). Каноническое распределение. Большое каноническое распределение.

### Тема 5. Статистические распределения идеальных газов

Классический идеальный газ. Распределения Максвелла и Максвелла-Больцмана. Столкновения молекул. Закон равного распределения. Квантование поступательного движения. Идеальные одноатомные квантовые газы. Представление чисел заполнения и расчет статистических сумм. Статистики Бозе-Эйнштейна и Ферми-Дирака. Переход к классической статистике Больцмана. Разреженный квантовый идеальный газ. Равновесное тепловое излучение. Фотонный газ.

### Тема 6. Идеальные газы при низких температурах и неидеальные системы

Тепловое движение атомов в кристалле. Фононный газ. Квантовая теория теплоемкости многоатомного идеального газа с учетом внутренних молекулярных движений. Бозе-газ при низких температурах. Бозе-Эйнштейновская конденсация. Ферми-газ при низких температурах. Электронный газ в металлах. Газ с короткодействующими силами взаимодействия между частицами. Разложение по степеням плотности. Полностью ионизированный газ.

### Тема 7. Элементы теории флуктуаций и физической кинетики

Флуктуации объема, энергии, числа частиц. Корреляция флуктуаций во времени. Флуктуационный предел чувствительности измерительных приборов. Уравнение кинетического баланса. Уравнение Больцмана.

### **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

### **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Зачет в седьмом семестре** проводится в письменной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса и одну задачу. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Макроскопические системы. Макроскопические параметры. Интенсивные и экстенсивные величины. Состояние термодинамического равновесия.

2. Равновесные и неравновесные термодинамические процессы. Изотермический, изохорный, изобарный, изотермический процесс.

3. Механическая работа, количество теплоты, энергия переноса массы. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия и энтропия.

4. Второе начало термодинамики. Различные формулировки второго начала термодинамики. Рост энтропии в процессах выравнивания.

5. Энтропия макроскопической системы при низких температурах. Теорема Нернста. Теплоемкость при низкой температуре.

6. Преобразование Лежандра. Термодинамические потенциалы. Экстенсивные свойства термодинамических потенциалов.

7. Термодинамические коэффициенты. Выражение одних термодинамических коэффициентов через другие. Метод якобианов.

8. Основные компоненты и принципиальная схема действия тепловой машины. Коэффициент полезного действия. Теорема Карно.

9. Эндообратимая тепловая машина, работающая с максимальной мощностью. Рабочий цикл и коэффициент полезного действия.

10. Постановка задачи об определении равновесного состояния открытой системы. Равновесие в контакте с тепловым резервуаром, резервуаром работы.

11. Стабильность термодинамических систем. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Физические последствия условий устойчивости.

12. Равновесное состояние составной системы. Сильные и слабые связи. Принцип максимума энтропии.

13. Многокомпонентные системы и их примеры. Фазы и компоненты. Условия равновесия фаз в многокомпонентной системе. Правило фаз Гиббса.

14. Равновесие двух фаз в однокомпонентной системе. Фазовые переходы первого и второго рода. Уравнение кривой равновесия фаз.

15. Постановка о химическом равновесии в газах. Термодинамическое обоснование закона действующих масс, его микроскопическая интерпретация.

16. Тепловой эффект химической реакции. Эндотермические и экзотермические реакции. Изменение константы равновесия с температурой. Правило вант-Гоффа.

17. Внутренняя энергия, объем и энтропия слабого раствора. Зависимость энтропии от количества вещества. Энтропия смешивания. Давление пара над раствором.

18. Термоэлектрические явления. Законы Ома, Фурье. Эффекты Зеебека и Пельтье. Принципиальная схема термопары.

Примеры задач:

1. Дано. Пусть  $T$  – температура,  $P$  – давление,  $V$  – объем,  $U$  – внутренняя энергия,  $S$  – энтропия,  $N$  – количество вещества.

Требуется. Указать среди термодинамических величин  $US$ ,  $PT$ ,  $S/N$ ,  $PTN$ ,  $P/T$ ,  $PV$ ,  $PVN$  интенсивные и экстенсивные.

2. Дано. В начальном состоянии термодинамическая система имеет внутреннюю энергию 360 Дж. В результате термодинамического процесса система получила количество теплоты  $Q=10$  Дж, и совершила работу  $A=15$  Дж.

Требуется. Найти внутреннюю энергию системы в конечном состоянии.

3. Дано. Состояние одного моля газа описывается уравнением Дитеричи ( $a, b$  – неотрицательные параметры).

$$P = \frac{RT}{V-b} \exp\left(-\frac{a}{RTV}\right).$$

Требуется. Найти разность молярных теплоемкостей при постоянном давлении и постоянном объеме.

4. Дано. Внутренняя энергия одного моля газа не зависит от занимаемого им объема.

Требуется. Найдите общий вид уравнения, которое удовлетворяет этому условию.

5. Дано. Давление насыщенного пара воды при  $T=20$  С равно 2,33 кПа, а при  $T=30$  С – 4,24 кПа.

Требуется. Найти давление водяного пара при  $T=40$  С.

6. Дано. В макроскопической системе имеется 4 компонента, которые распределены по трем фазам.

Требуется. Найти число степеней свободы такой системы.

7. Дано. В газе водороде идет обратимая реакция диссоциации молекул. Уравнение реакции  $H_2=2H-435$  кДж.

Требуется. Определить (качественно) как изменится количество диссоциировавших молекул при повышении температуры.

8. Дано. Смесь 25% водорода, 25% азота и 50% аммиака находится в состоянии химического равновесия при  $P=300$  атм.

Требуется. Качественно описать, как изменится равновесный состав смеси, если давление увеличится до 1000 атм. (Идет реакция  $3H_2+N_2=2NH_3$ .)

9. Дано. Водный раствор соли содержит 0,99 молей воды и 0,01 моля растворенного вещества. Удельная теплота парообразования воды равна  $q=2 \cdot 10^6$  Дж/моль.

Требуется. Определить температуру кипения раствора.

10. Дано. В каждом равновесном состоянии газа внутренняя энергия  $U$ , давление  $P$  и объем  $V$  связаны соотношением  $gU=PV$ , где  $g$  является некоторой постоянной.

Требуется. Найти класс возможных уравнений состояния такого газа.

11. Дано. В двух сосудах находятся два однотипных идеальных газа с одинаковыми температурами  $T$  и числом молей  $\nu$ , но с разными давлениями  $P_1$  и  $P_2$ . Сосуды соединяются.

Требуется. Найти изменение энтропии.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено»/«незачтено».

Промежуточная аттестация выставляется по итогам контроля посещаемости лекций и выполнения контрольных работ. Требуется посещение не менее чем 50% занятий и выполнение 50% контрольных и домашних работ.

Оценивание ответа студента на зачете проводится в соответствии со следующей таблицей.

Оценка	Критерий оценивания		
	Б	Д	З
Зачтено			

	Полный развернутый ответ или задача решена
	Неполный ответ
	Фрагментарный ответ
	Отсутствие ответа или задача не решена

Здесь Б — вопросы по билету; Д — дополнительные вопросы; З — задача; Оценка «незачтено» соответствует всем иным случаям, не указанным в таблице.

**Экзамен во восьмом семестре** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из трех частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая часть содержит 5 вопросов в тестовой форме, проверяющих ИОПК-1.1. Ответ на вопрос выбирается из нескольких возможных вариантов.

Вторая часть содержит 2 вопроса, проверяющих ИОПК-2.3. Ответ на вопрос второй части дается в развернутой форме.

Третья часть содержит 1 вопрос, проверяющий ИПК 2.1, и оформленные в виде практических задач. Ответы на вопросы третьей части предполагают решение задач и краткую интерпретацию полученных результатов.

Примерный перечень теоретических вопросов.

1. Микроскопическое и макроскопическое состояние. Микроскопическое описание в классической и квантовой статистике. Фазовое пространство. Фазовая траектория.

2. Статистический ансамбль. Статистическая функция распределения. Статистический оператор. Постулат о наблюдаемых значениях величин.

3. Временная эволюция смешанного состояния. Уравнение Лиувилля и фон Неймана, их следствия.

4. Эргодическая гипотеза. Постулат о равной вероятности реализации микроскопических состояний. Микроканоническое распределения.

5. Функция распределения системы, находящейся в тепловом контакте с окружением. Вывод на основе статистической независимости.
6. Вывод канонического распределения из микроканонического (классический случай). Функция распределения. Среднее по ансамблю.
7. Большое каноническое распределение для системы с переменным числом частиц. Функция распределения. Среднее по ансамблю.
8. Распределение частиц классического идеального газа по координатам и импульсам. Распределения Максвелла и Больцмана.
9. Взаимосвязь статистических сумм и термодинамических функций. Вывод основного термодинамического тождества.
10. Свободная энергия и большой термодинамический потенциал идеального классического газа. Уравнения состояния, значение химической постоянной.
11. Многоатомный классический газ. Вращения и колебания молекул. Закон равного распределения. Теплоемкость газа.
12. Большой термодинамический потенциал системы тождественных частиц. Распределения Ферми и Бозе для средних чисел заполнения.
13. Идеальный квантовый газ для системы элементарных частиц. Термодинамические потенциалы, давление, теплоемкость.
14. Разреженный идеальный квантовый газ элементарных частиц. Свободная энергия, уравнение и теплоемкость в первом приближении. Классический предел.
15. Квантовая теория теплоемкость двухатомного газа. Молекулы, состоящие из различных атомов.
16. Квантовая теория теплоемкость двухатомного газа. Молекулы, состоящие из одинаковых атомов. Ортоводород и параводород.
17. Квантовая теория теплоемкости твердого тела. Длинноволновые колебания атомов. Модель Дебая.
18. Равновесное тепловое излучение. Спектральная и объемная плотность энергии. Формулы Релея-Джинса, Вина, Планка.
19. Флуктуации энергии, объема и числа частиц. Зависимость средней и относительной флуктуации от размеров системы.
20. Кинетическое уравнение Больцмана. Принцип детального равновесия. Кинетическое уравнение Больцмана.

#### Примеры задач.

1. Дано. Система состоит из  $N$  ( $N \gg 1$ ) слабо взаимодействующих атомов, каждый из которых может находиться в одном из двух состояний.  
Требуется. Получите асимптотику этого выражения при  $n \ll N$ .
2. Дано. Для некоторой системы известны энергия  $E \geq 0$  и ее функция статистическая сумма  $Z = A\beta^{-n}$ , ( $\beta \equiv 1/kT$ ).  
Требуется. Определить плотность состояний.
3. Дано. Молярная масса воздуха над приблизительно равна  $\mu = 29$  г, а его температура  $T=300$  К.  
Требуется. Определить высоту воздушного столба над поверхностью Земли.
4. Дано. В газовой центрифуге радиуса  $R$ , вращающейся с постоянной угловой скоростью  $\omega$ , производится разделение смеси газов, молекулы которых имеют массы  $m_1$  и  $m_2$ . Найти коэффициент разделения  $q = (n_1/n_2)|_{r=R} / (n_1/n_2)|_{r=0}$ , где  $n_1$  и  $n_2$  — концентрация молекул.  
Требуется. Объяснить, почему  $q$  растет с понижением температуры.

5. Дано. В большом сосуде объемом  $V$  при температуре  $T$  находится  $N$  частиц идеального газа.

Требуется. Найти угловое распределение частиц, вылетающих в единицу времени в вакуум из небольшого отверстия площадью  $S$  в стенке сосуда.

6. Дано. Собственный магнитный момент электрона равен  $\mu_e$ .

Требуется. Определить магнитный момент  $M_e$  и поляризуемость  $\chi_{eH}$  электронного газа с плотностью  $n$  при температуре  $T$ .

7. Дано. Система обладает эквидистантными невырожденными уровнями внутреннего движения частиц  $\varepsilon_p = \varepsilon_p$ ,  $p=1, 2, 3, \dots, n$ . Энергия высшего уровня намного меньше тепловой энергии  $n\varepsilon \ll kT$ .

Требуется. Найти внутреннюю, свободную энергии и теплоёмкость системы.

8. Дано. Однородная моновариантная система, для которой известно (1) уравнение состояния и (2) теплоёмкость при заданной температуре.

Требуется. Найти вероятность и средний квадрат флуктуации (дисперсию) давления  $P$  и энтропии  $S$ .

9. Дано. Неидеальный газ состоит из невзаимодействующих жестких частиц с радиусом  $r_0$ .

Требуется. Найти второй вириальный коэффициент.

10. Дано. В одноатомном газе из потенциальная энергия парного взаимодействия которых зависит только от расстояния между ними и имеет вид  $U(r)=ar^{-6}+br^{-12}$ .

Требуется. Найти второй вириальный коэффициент.

11. Дано. Фотонный газ в полости объемом  $V$  находится при заданном значении температуры  $T$ .

Требуется. Определить дисперсию полного числа фотонов черного излучения.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация выставляется по итогам контроля посещаемости лекций и выполнения контрольных работ. Требуется посещение не менее чем 50% занятий и выполнение 50% контрольных и домашних работ.

Оценивание ответа студента на зачете с оценкой проводится в соответствии со следующей таблицей.

Оценка	Критерий оценивания		
	Б	Д	З
5			
4			
3			




	Полный развернутый ответ или задача решена
	Неполный ответ
	Фрагментарный ответ
	Отсутствие ответа или задача не решена

Здесь Б — вопросы по билету; Д — дополнительные вопросы; З — задача; 5 — отлично; 4 — хорошо; 3 — удовлетворительно. Неудовлетворительная оценка соответствует всем иным случаям, не указанным в таблице.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Различные формулировки второго начала термодинамики.
2. Фундаментальное уравнение состояния термодинамической системы.
3. Термодинамика негазовых систем (парамагнетики, диэлектрики, стержни).
4. Процессы Гей-Люссака и Джоуля-Томсона.
5. Квантовомеханический вывод большого канонического распределения.
6. Квантование поступательного движения.
7. Электронный газ в полупроводниках.
8. Магнитные свойства идеальных систем.
9. Флуктуации энергии, давления и числа частиц.

Темы для рефератов и учебно-методическая литература для самостоятельной работы:

Тема 1. Формулировки второго начала термодинамики .

Литература:

- 1) Capek V. Challenges to the Second Law of Thermodynamics: Theory and experiment./ V. Capek and D.P. Sheehan. – Springer:Berlin, 2005. – N1-4020-3016-9 (e-book).
- 2) Белоконь Н.И. Основные принципы термодинамики. – М.:Недра, 1968. – 110 с.
- 3) Второе начало термодинамики [http://pmf03.narod.ru/2sem/2sem\\_3.pdf](http://pmf03.narod.ru/2sem/2sem_3.pdf)

Тема 2. Неидеальный газ классических частиц.

Литература:

- 1) Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи / Л.К. Аминов. – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 180 с.
- 2) Сон Э.Е. Лекции по физической механике / Э.Е. Сон. – М.:Физматлит., 2015. – 244 с.
- 3) Задачи по термодинамике и статистической физике. – под. ред. П.Ландсберга. – М.:Мир. – 1974. – 684 с.

Тема 3. Флуктуации числа частиц в идеальном газе.

Литература:

- 1) Казанский В.Б. Статистическая физика и термодинамика. Задачи, основные понятия и положения: Методическое пособие.– Харьков: ХНУ, 2004. – 112 с. – библи. 24.
- 2) Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика. Часть 1. – Издание 5-е. /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.– М.: Физматлит, 2001. – 616 с.
- 3)
  - 2) Herbert B. Callen and Theodore A. Welton. «Irreversibility and Generalized Noise» // Phys. Rev. – 1951. – Vol.83. – P. 34-40.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
- Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т.5. Статистическая физика. Часть 1. – Издание 5-е. /Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц.– М.: Физматлит, 2001. – 616 с.
  - Румер Ю.Б. Термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика /Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. – М.: Наука, 1977. – 551 с.
  - Термодинамика и статистическая физика – Электронный ресурс: [33 книги в PDF-формате, система поиска и закладок]. – М.:РХД, 2001 – 1 электрон. опт. диск.
  - Куни Ф.М. Статистическая физика и термодинамика. – М.: Наука, 1981. – 351 с.
  - Терлецкий Я.П. Статистическая физика. – М.: Высшая школа, 1973. – 277 с.
  - Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. – М.: Физматлит, 1973. – 423 с.
  - Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970. – 304 с.
  - Кубо Р. Статистическая физика. – М.: Мир, 1967. – 452 с.
  - Киттель Ч. Статистическая термодинамика. – М.: Наука, 1977. – 336 с.
  - Базаров И.П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1983. – 446 с.
  - Власов А.А. Статистические функции распределения. – М.: Ленард, 2014. – 355 с.
  - Квасников И.А. Термодинамика и статистическая физика. Т.4. – М.:КомКнига, 2014. – 349 с.
  - Квасников И.А. Квантовая статистика. – М.:Красанд, 2014. – 569 с.
- б) дополнительная литература:
- Абрагам А. Ядерный магнетизм. – М.: ИЛ, 1963. – 552 с. Абрагам А., Блини Б. Электронный парамагнитный резонанс переходных ионов. Т. 1. – М.: Мир, 1972.– 652 с.
  - Арнольд В.И. Математические методы классической механики. – М.: Наука, 1974. – 432 с. Ахиезер А.И., Пелетминский С.В. Методы статистической физики. – М.: Наука, 1977. – 368 с.
  - Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. – М.: Мир. Т.1, 1978. – 406 с. – Т.2, 1978. – 400 с.
  - Блум К. Теория матрицы плотности и ее приложения. – М.: Мир, 1983. – 248 с.
  - Боголюбов Н.Н. Проблемы динамической теории в статистической физике. – М.-Л.: Гостехиздат, 1946.
  - Бонч-Бруевич В.Л., Тябликов С.В. Метод функций Грина в статистической механике. – М.: Физматгиз, 1961. – 312 с.
  - Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. – М.: Наука, 1986. – 192 с. 163
  - Гиббс Дж.В. Термодинамика. Статистическая механика. – М.: Наука, 1982. – 584 с.
  - Гречко Л.Г. и др. Сборник задач по теоретической физике. – М.: Высшая школа, 1984. – 320 с.
  - Грот С., Мазур П. Неравновесная термодинамика. – М.: Мир, 1964. – 456 с.
  - Давыдов А.С. Теория твердого тела. – М.: Наука, 1976. – 640 с.
  - Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
  - Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. – М.: Наука, 1988. – 368 с.

- Изюмов Ю.А., Сыромятников В.Н. Фазовые переходы и симметрия кристаллов. – М.: Наука, 1984. – 248 с.
- Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. – М.: Ред. УФН, 1997. – 400 с.
- Кайзер Дж. Статистическая термодинамика неравновесных процессов. – М.: Мир, 1990. – 608 с.
- Киттель Ч. Элементарная статистическая физика. – М.: ИЛ, 1960. – 278 с.
- Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Физматгиз, 1963. – 696 с.
- Киттель Ч. Квантовая теория твердых тел. – М.: Наука, 1967. – 492 с.
- Климонтович Ю.Л. Статистическая физика. – М.: Наука, 1982. – 608 с.
- Кондратьев А.С., Романов В.П. Задачи по статистической физике. – М.: Наука, 1992. – 152 с.
- Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970. – 304 с.
- Задачи по термодинамике и статистической физике / Под ред. П. Ландсберга – М.: Мир, 1974. – 640 с.
- Майер Дж., Гесперт-Майер М. Статистическая механика. – М.: Мир, 1980. – 544 с.
- Мартин Н., Ингленд Дж. Математическая теория энтропии. – М.: Мир, 1988. – 350с.
- Паташинский А.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. – М.: Наука, 1982. – 382 с.
- Пригожин И. От существующего к возникающему. – М.: Наука, 1985. – 328 с.
- Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2. Термодинамика и молекулярная физика. – М.: Наука, Физматлит, 1990. – 592 с.
- Фейнман Р. Статистическая механика. – М.: Мир, 1978. – 408 с.
- Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т.1. – М.: Мир, 1984. – 528 с.
- Хилл Т. Статистическая механика. – М.: ИЛ, 1960. – 486 с.
- Хуанг Керзон. Статистическая механика. – М.: Мир, 1966. – 520 с.
- Эткинс П. Физическая химия. Т.Т. 1 и 2. – М.: Мир, 1980. – 580 с. и 584 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Термодинамика и статистическая физика – К.М. Салихов  
[kpfu.ru/portal/docs/F2096324044/Thermodynamics\\_and\\_statistical\\_physics.pdf](http://kpfu.ru/portal/docs/F2096324044/Thermodynamics_and_statistical_physics.pdf)
- Термодинамика и теплопередача  
[ikfia.ysn.ru/images/doc/molekul\\_fizika/BolgarskijMuhachevShchukin1975ru.pdf](http://ikfia.ysn.ru/images/doc/molekul_fizika/BolgarskijMuhachevShchukin1975ru.pdf)
- Основы технической термодинамики и теории тепло - и массообмена  
[http://www.tot.spbstu.ru/files/TOT\\_Barilovich\\_Smirnov.pdf](http://www.tot.spbstu.ru/files/TOT_Barilovich_Smirnov.pdf)
- Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики  
[http://www.vixri.ru/d3/Shegolev%20I.F.%20%20\\_Elementy%20statist.%20mexaniki.%20Termodinamiki%20i%20kinetiki.pdf](http://www.vixri.ru/d3/Shegolev%20I.F.%20%20_Elementy%20statist.%20mexaniki.%20Termodinamiki%20i%20kinetiki.pdf)
- Функциональные методы в классической статистической физике  
[www.novsu.ru/file/10567](http://www.novsu.ru/file/10567)

### 13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
  - Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).
- б) информационные справочные системы:
  - а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook); системы компьютерной вёрстки LaTeX;

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

б) информационные справочные системы:

–Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>

–Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>

– ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>

– ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>

– Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>

– ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Капарулин Дмитрий Сергеевич, к.ф.-м.н., кафедра квантовой теории поля, физический факультет ТГУ, доцент.