

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:  
Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

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  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск – 2023

## **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 Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

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. Процесс релаксации. Состояние термодинамического равновесия. Термодинамические параметры. 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 о максимальной работе. Теорема Карно. Тепловая машина, работающая с наибольшей мощностью. Равновесие и устойчивость открытых термодинамических систем. Физические последствия условий устойчивости. Составные термодинамические системы. Равновесное состояние составной системы. Принцип максимума энтропии. Равновесное тепловое излучение.

### 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. Термодинамика парамагнетиков и ферромагнетиков. Точка Кюри. 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. Постулат о наблюдаемых значениях физических величин. 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. Энтропийная константа газов. Ионизация газов. Формула Саха.

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

Тепловое движение атомов в кристалле. Фононный газ. Квантовая теория теплоемкости двухатомного идеального газа с учетом внутренних молекулярных (колебательное и вращательное) движений. Теплоемкость водорода при низкой температуре. Ортоводород и пароводород. Бозе-газ при низких температурах. Бозе-Эйнштейновская конденсация. Ферми-газ при низких температурах. Электронный газ в металлах. Теплоемкость вырожденного электронного газа. 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 осуществляется путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ и тестов по лекционному материалу и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации

**Зачет в седьмом семестре** проводится в устной форме по билетам. Продолжительность зачета 1,5 часа.

**Экзамен в восьмом семестре** проводится в устной форме по билетам. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» – <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22021> (7 семестр), <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=30732> (8 семестр).

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

**В седьмом семестре** проводится 16 часов практических занятий.

Занятие 1. Некоторые соотношения между термодинамическими коэффициентами.

Занятие 2. Первое начало термодинамики. Коэффициент Грюнайзена

Занятие 3. Второе начало термодинамики. Принципы Клаузиуса, Томсона (Кельвина), Каратеодори и принцип невозможности создания вечного двигателя второго рода.

Занятие 4. Работа тепловой машины по квазистатическому циклу. Коэффициент полезного действия.

Занятие 5. Энтропия системы.

Занятие 6. Термодинамический потенциал Гиббса системы. Уравнение Гиббса-Дюгема.

Занятие 7. Система во внешнем поле. Задача на безусловный экстремум

Занятие 8. Давление насыщенного пара

**В восьмом семестре** проводится 16 часов практических занятий.

Занятие 1. Каноническое и большое каноническое распределения Гиббса. Статистическая сумма, средняя энергия частиц, средняя плотность частиц.

- Занятие 2. Термодинамические потенциалы идеального классического газа.  
 Занятие 3. Распределение Максвелла для идеального газа свободных частиц.  
 Занятие 4. Распределение Больцмана. Газ во вращающемся сосуде.  
 Занятие 5. Идеальный газ частиц с двумя уровнями энергии. Энергия и теплоёмкость. Ширина максимума теплоёмкости  
 Занятие 6. Парамагнитный газ в магнитном поле. Намагничивание газа.  
 Занятие 7. Полный магнитный момент системы свободных электронов при абсолютном нуле температуры (полное вырождение)  
 Занятие 8. Система твёрдое тело – газ в состоянии равновесия. Давление газа как функция температуры.

Учебное пособие по практическим занятиям в электронном университете «Moodle»

[https://moodle.tsu.ru/pluginfile.php/1732700/mod\\_resource/content/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%28%D0%93.%D0%A4.%20%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%B5%D0%B2%2C%20%D0%92.%D0%92.%20%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2%29.pdf](https://moodle.tsu.ru/pluginfile.php/1732700/mod_resource/content/1/%D0%9F%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%B8%D0%B5%28%D0%93.%D0%A4.%20%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%B0%D0%B5%D0%B2%2C%20%D0%92.%D0%92.%20%D0%93%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2%29.pdf)

г) 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) Сапек V. Challenges to the Second Law of Thermodynamics: Theory and experiment./ V. Сапек and D.P. Sheehan. – Springer:Berlin, 2005. – N1-4020-3016-9 (e-book).
- 2) Белоконов 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) Ландфу 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) 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., Гепперт-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.