

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Статистическая термодинамика
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
курс:	2
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составил: А.В. Максимычев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 19.02.2025

Аннотация

Курс посвящен основам классической статистической физики и термодинамике. Цель курса состоит в изучении обучающимися принципов статистической термодинамики для применения ее в сфере наукоемких технологий при подготовке к дальнейшей практической самостоятельной работе в области энергетики, физики живых систем, материаловедения, технологии наноматериалов. Основное внимание уделено связи микроскопических состояний и макроскопических параметров, последовательному введению равновесных статистических распределений. Рассматриваются предпосылки перехода к учету квантовых эффектов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Изучение обучающимися основ статистической термодинамики для применения ее в сфере наукоемких технологий при подготовке к дальнейшей практической самостоятельной работе в области энергетики, физики живых систем, материаловедения, технологии наноматериалов.

Задачи дисциплины

- ознакомление обучающихся с предметом, принципами, методами и моделями статистической термодинамики;
- приобретение обучающимися теоретических знаний, практических умений и навыков в области исследований статистических систем;
- оказание консультаций и помощи обучающимся в проведении их собственных теоретических и экспериментальных исследований.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные понятия, законы и теории статистической термодинамики;
- размерности и численные значения мировых констант и основных величин, употребляемых в статистической термодинамике;
- основные термодинамические потенциалы и их физический смысл;
- закон равнораспределения внутренней энергии по степеням свободы;
- условия термодинамического равновесия; в т.ч. химического;
- статистический смысл энтропии.

уметь:

- делать выводы из сопоставлений результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в рассматриваемых задачах и проблемах;
- видеть физическую суть технических задач;
- пользоваться справочной литературой для поиска необходимых физико-химических данных и понятий;
- рассчитывать термодинамические потенциалы молекулярных систем на основе представлений о строении вещества.

владеть:

- навыками освоения больших объемов информации;
- культурой постановки и анализа физических задач;
- методами статистической механики.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Феноменологическая термодинамика	7			5
2	Статистическая механика молекул	13			5
3	Современные проблемы статистической термодинамики	10			5
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 4 (Весенний)

1. Феноменологическая термодинамика

Введение. Термодинамическая система, термодинамические параметры, термодинамические процессы.

Взаимодействие термодинамической системы с окружением. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия.

2. Статистическая механика молекул

Термодинамические потенциалы и характеристические функции.
Химический потенциал.
Ансамбли и распределение Больцмана.
Большая статистическая сумма Q .
Выражения термодинамических функций через Q и Z .
Разделение статсуммы по видам движения.
Вычисление поступательной статсуммы молекулы.
Поступательная энтропия идеальных газов.
Вычисление статсуммы вращательного движения $Z_{\text{вр}}$.
Вычисление колебательной статсуммы $Z_{\text{кол}}$.
Вклад вращения и колебаний в энтропию.
Электронная статистическая сумма.
Степени свободы молекул.
Классические и квантовые представления о системе.
Характеристические температуры.
Теплоёмкость идеальных газов.
Внутренне вращение в многоатомных молекулах.
Определение энтропии из калориметрических измерений.
Энтропия и вероятность. Формула Больцмана.
Расчёт константы равновесия через молекулярную статсумму Z .

3. Современные проблемы статистической термодинамики

Статистика реальных газов. Понятие конфигурационного интеграла.
Вычисление термодинамических функций реальных систем через уравнение состояния.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная доской и медиапроектором.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Ф. Щеголев .— 2-е изд., испр. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 208 с.
2. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 2003 .— 179 с.
3. Химическая термодинамика : Задачи, примеры, задания [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. В. Захаров [и др.] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : МФТИ, 2007 .— 128 с.
4. Термодинамика, статистическая и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко .— 4-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2012 .— 192 с.

Дополнительная литература

1. Статистическая физика [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов / Ю. Л. Климонтович .— М. : Наука, 1982 .— 608 с.
2. Статистическая физика [Текст] : Т. 5 / Ф. Рейф ; 3-е изд., испр. ; пер. с англ. ; под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга .— М. : Наука, 1986 .— 336 с.
3. Введение в термодинамику. Статистическая физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / М. А. Леонтович ; [предисл. и примеч. Д. В. Сивухина] .— М. : Наука, 1983 .— 416 с.
4. Статистическая термодинамика [Текст] / Ч. Киттель; пер. с англ. О. А. Ольхова; под ред. С. П. Капицы, -М., Наука, 1977

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п.[1,2] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
курс:	<u>2</u>
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 4 (весенний) - Зачет	
Разработчик:	А.В. Максимычев, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
	УК-1.4 Грамотно, логично, аргументированно формирует собственные суждения и оценки
УК-6 Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни	УК-6.2 Способен планировать самостоятельную деятельность в решении профессиональных задач; подвергать критическому анализу проделанную работу; находить и творчески использовать имеющийся опыт в соответствии с задачами саморазвития
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Статистическая термодинамика» обучающийся должен:

знать:

- фундаментальные понятия, законы и теории статистической термодинамики;
- размерности и численные значения мировых констант и основных величин, употребляемых в статистической термодинамике;
- основные термодинамические потенциалы и их физический смысл;
- закон равнораспределения внутренней энергии по степеням свободы;
- условия термодинамического равновесия; в т.ч. химического;
- статистический смысл энтропии.

уметь:

- делать выводы из сопоставлений результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в рассматриваемых задачах и проблемах;
- видеть физическую суть технических задач;
- пользоваться справочной литературой для поиска необходимых физико-химических данных и понятий;
- рассчитывать термодинамические потенциалы молекулярных систем на основе представлений о строении вещества.

владеть:

- навыками освоения больших объемов информации;
- культурой постановки и анализа физических задач;
- методами статистической механики.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос студентов по теме предыдущего занятия.

Также студентам выдается домашнее задание.

Пример домашнего задания:

Расчёт термодинамических характеристик веществ на основе их молекулярно-физических свойств

Провести расчет виртуальной энтропии ST и теплоёмкости CP,T для вещества $X(r)$ при T_i, P_i .

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

1. Взаимодействие термодинамической системы с окружением. Первое начало термодинамики. Внутренняя энергия.
2. Термодинамические потенциалы и характеристические функции.
3. Химический потенциал.
4. Ансамбли и распределение Больцмана.
5. Большая статистическая сумма Q .
6. Выражения термодинамических функций через Q и Z .
7. Разделение статсуммы по видам движения.
8. Вычисление поступательной статсуммы молекулы.
9. Поступательная энтропия идеальных газов.
10. Вычисление статсуммы вращательного движения $Z_{вр}$.
11. Вычисление колебательной статсуммы $Z_{кол}$.
12. Вклад вращения и колебаний в энтропию.
13. Электронная статистическая сумма.
14. Степени свободы молекул.
15. Классические и квантовые представления о системе.
16. Характеристические температуры.
17. Теплоёмкость идеальных газов.
18. Внутренне вращение в многоатомных молекулах.
19. Определение энтропии из калориметрических измерений.
20. Энтропия и вероятность. Формула Больцмана.
21. Расчёт константы равновесия через молекулярную статсумму Z .

Критерии оценивания

Оценка "зачтено" выставляется студенту, посетившему 50% и более занятий и выполнившему домашнее задание.

Оценка "не зачтено" выставляется студенту, посетившему менее 50% занятий и не выполнившему домашнее задание.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Оценка за семестр выставляется за письменное домашнее задание и по результатам устного коллоквиума. При проведении устного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку.