

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

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Молекулярная физика и термодинамика
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра общей физики
курс:	1
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный 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: В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 29.10.2022

Аннотация

Программа является составной частью курса общей физики, предназначенного для освоения студентами специальности "Информатика и вычислительная техника" института аэромеханики и летательной техники (ИАЛТ). Она предполагает знакомство обучающихся с базовыми понятиями и результатами молекулярно-кинетической теории вещества и классической термодинамики. Программой предусматривается аудиторное чтение лекций, практические занятия - семинары и занятия в лабораториях физпрактикума. Изучение дисциплины начинается со знакомства студентов с характерными значениями различных микроскопических и макроскопических параметров вещества в различных агрегатных состояниях. Большое внимание в курсе уделяется установлению связи макроскопических характеристик вещества таких, как параметры состояния, теплоемкость, теплофизических параметров и т.п. с особенностями строения и законами межмолекулярного взаимодействия огромного количества микрочастиц, составляющих его. Для этих целей используются наипростейшие физико-математические модели молекулярных газов: идеальный газ и газ Ван-дер-Ваальса. Излагаются основополагающие законы термодинамики (начала) и использующих их математический аппарат дисциплины. Значительная часть программы посвящена вопросам научного объяснения наблюдаемых на практике явлений.

Для успешного освоения курса студент должен знать законы термодинамики и молекулярной физики в объеме программ средней школы, а также владеть начальными сведениями из курсов математического анализа, теории дифференциальных уравнений и векторного исчисления.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области термодинамики и молекулярной физики для дальнейшего изучения других разделов физики

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний в области термодинамики и молекулярной физики
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения различных физических задач
- формирование общефизической культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы

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-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ фундаментальные законы и понятия термодинамики и молекулярной физики, а также границы их применимости:
- ☐ основные законы термодинамики (0,1, 2, 3 «начала»)
- ☐ понятие о равновесных и неравновесных процессах, термодинамическое определение энтропии, закон возрастания энтропии, энтропия идеального газа
- ☐ основы молекулярно-кинетической теории (основное уравнение МКТ, длина свободного пробега, распределения Больцмана, Максвелла)
- ☐ основы статистической физики (статистический смысл энтропии, понятие о распределении Гиббса)
- ☐ основы квантовой теории теплоёмкости (степени свободы и их возбуждение, характеристические температуры)
- ☐ основы теории фазовых переходов (фазовые диаграммы, теплоты переходов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса)
- ☐ основы теории процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Коэффициенты переноса в газовых средах. Броуновское движение, закон Эйнштейна-Смолуховского. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии
- ☐ зависимость давления насыщенного пара от температуры, теплоёмкость насыщенного пара
- ☐ основные положения стационарной динамики одномерных течений сжимаемой жидкости.

уметь:

- ☐ применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач термодинамики и молекулярной физики
- ☐ применять законы сохранения для расчёта процессов сжатия/расширения газов, в том числе: для расширения газа в пустоту; истечение газов из малого отверстия; течение в условиях эффекта Джоуля-Томсона
- ☐ рассчитывать КПД равновесных циклов тепловых и холодильных машин, в том числе заданных в координатах TS
- ☐ рассчитывать изменение энтропии в неравновесных процессах, а также максимальную и минимальную работы систем
- ☐ рассчитывать тепловые процессы с учётом наличия фазовых переходов и эффектов поверхностного натяжения
- ☐ рассчитывать тепловые процессы для неидеальных газов (для уравнения Ван-дер-Ваальса)
- ☐ пользоваться вероятностными распределениями, уметь вычислять средние значения и среднеквадратичные отклонения параметров для случаев распределений Больцмана и Максвелла.
- ☐ рассчитывать статистический вес и энтропию на основе статистической теории для простейших систем с дискретными энергетическими уровнями
- ☐ рассчитывать скорость переноса вещества (или тепла) при диффузии (или теплопроводности) в стационарных и квазистационарных случаях
- ☐ анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- ☐ применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- ☐ основными методами решения задач термодинамики и молекулярной физики;
- ☐ основными математическими инструментами, характерными для задач термодинамики и молекулярной физики.

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.

		лекции	семинары	лаборат. работы	работа
1	Распределение молекул в пространстве	4			2
2	Распределения Гаусса и Пуассона. Флуктуации числа частиц в заданном объеме	2			1
3	Распределение Максвелла	2			1
4	Плотности молекулярных потоков	2			1
5	Давление в идеальном газе. Распределение Больцмана	4			2
6	Первое начало термодинамики	4			2
7	Функции состояния	2			1
8	Процессы переноса. Броуновское движение	2			1
9	Второе начало термодинамики и его статистический смысл	4			2
10	Фазовые переходы	2			1
11	Элементарная термодинамика газовых потоков	2			1
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: 2 (Весенний)

1. Распределение молекул в пространстве

Предмет и основные задачи молекулярной физики и термодинамики. Основные положения молекулярно-кинетической теории вещества (МКТВ). Основные параметры в МКТВ и порядки их величин. Идеальный и неидеальный газы; разреженный газ. Биноминальное распределение. Нормировка. Средние величины и дисперсии. Флуктуации числа частиц в заданном объеме.

2. Распределения Гаусса и Пуассона. Флуктуации числа частиц в заданном объеме

Распределения Гаусса и Пуассона. Нормировка. Средние величины и дисперсии распределений. Флуктуации.

3. Распределение Максвелла

Понятие о распределении молекул разреженного газа по скоростям. Гипотеза о «молекулярном хаосе». Время свободного пробега молекул газа. Принцип детального баланса. Вывод равновесного распределения по скоростям (функции распределения Максвелла) из принципа детального баланса. Основные свойства функции распределения Максвелла. Газокинетическая температура. Характерные скорости молекул.

4. Плотности молекулярных потоков

Определение плотностей молекулярных потоков массы, импульса и энергии в разреженных газах с помощью функции распределения по скоростям. Общие выражения. Давление идеального газа на стенку.

5. Давление в идеальном газе. Распределение Больцмана

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро и Дальтона. Идеально-газовый термометр. Распределение Больцмана в однородном гравитационном поле (барометрическая формула). Средняя энергия молекул идеального изотермического газа в однородном гравитационном поле. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы (без доказательства). Средняя энергия поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы линейных молекул идеального газа. Характеристические температуры. Ограниченность теоремы о равномерном распределении.

6. Первое начало термодинамики

1. Теплота, внутренняя энергия, работа и энтальпия. Основные теплофизические характеристики вещества: теплоемкость и термические коэффициенты. Соотношение Майера для теплоемкостей идеального газа.
2. Квазистатические процессы с идеальным газом. Политропический процесс и его частные случаи. Уравнение политропы и его частные случаи. Графическое изображение квазистатических процессов. Замкнутые (круговые) квазистатические процессы и их практическое значение.
3. Цикл Карно. Энтропия равновесного идеального газа. Термодинамическая шкала температур. Связь термодинамической шкалы температур со шкалой идеально-газового термометра.

7. Функции состояния

Общие представления о методе термодинамических функций (потенциалов) и методе циклов в равновесной термодинамике. Вывод основного термодинамического тождества.

8. Процессы переноса. Броуновское движение

Обратимые и необратимые процессы. Неравновесные процессы. Процессы переноса в локально-равновесных средах. Основные отличия в математическом описании квазистатических и неравновесных процессов. Диффузия, вязкое трение и теплопроводность – основные сведения. Кинетические коэффициенты. Характерные времена. Примеры. Броуновское движение. Объяснение закономерностей броуновского движения с позиций молекулярно-кинетической теории вещества.

9. Второе начало термодинамики и его статистический смысл

1. Общая математическая формулировка второго начала термодинамики. Объединённое уравнение первого и второго начал термодинамики. Статистический смысл второго закона термодинамики. Формула Больцмана и флуктуации. Изменение энтропии при диффузионном смешении идеальных газов и парадокс Гиббса.
2. Третье начало термодинамики. Поведение теплофизических характеристик вещества вблизи абсолютного нуля. Изменение энтропии и теплоёмкости при приближении температуры к абсолютному нулю. Теорема Нернста (третье начало термодинамики).

10. Фазовые переходы

1. Реальные газы, газ Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Физический смысл его членов. Критические параметры вещества и закон соответственных состояний.
2. Термодинамические свойства газа Ван-дер-Ваальса: внутренняя энергия, энтропия, теплоемкость. Процесс Джоуля-Томсона.
3. Фазовые переходы. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и их связь с изотермами реального вещества. Фазовые переходы «газ-жидкость». Теплота перехода. Правило Максвелла и правило рычага.

4. Условия фазового равновесия и уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Химический потенциал фазы. Фазовые диаграммы.

5. Зависимость давления насыщенного пара от температуры. Теплоемкость насыщенного пара. Кипение, конденсация и метастабильные состояния.

11. Элементарная термодинамика газовых потоков

Уравнения стационарного движения адиабатного одномерного потока сжимаемого невязкого газа и их интегралы. Разгон потока газа до сверхзвуковых скоростей. Сопло Лавала. Основные особенности сверхзвуковых течений. Ударные волны сжатия в сверхзвуковых потоках газа в свете второго начала термодинамики.

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

- Аудитория, оснащённая коммуникационными средствами с выходом в Интернет и оборудованием для коллективного просмотра видеолекций
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 2 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 5-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2005, 2006, 2011, 2014 .— 544 с.
2. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
3. Краткий курс термодинамики [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. Е. Белонучкин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : МФТИ, 2010 .— 164 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.
5. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 1 : Механика. Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Овчинкина .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2013 .— 560 с.
6. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 1 : учеб. пособие для вузов. Механика. Термодинамика и молекулярная физика / под ред. В. А. Овчинкина .— 4-е изд., испр. — М. : Физматкнига, 2016 .— 560 с.

Дополнительная литература

1. Молекулярная физика и термодинамика [Текст] : Основные положения и решение задач : учеб. пособие для вузов / П. Ф. Коротков ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 3-е изд., испр. и доп. — М. : МФТИ, 2009 .— 168 с.
2. Методы решения задач в общем курсе физике. Термодинамика и молекулярная физика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. П. Коржавов .— М. : Высшая школа, 2009 .— 358 с.

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

1. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/method/ — методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> — электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»

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

1. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/method/ — методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»
3. <https://mipt.ru/education/chair/physics/records/thermodynamics/> -- видеозаписи лекций

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

Студент, изучающий курс «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- просмотр на ПК рекомендованных видеозаписей лекций,
- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения,
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях,
- решение задач из заданий, включая задачи, предназначенные для разбора на семинарах;
- подготовку к выполнению лабораторной работы;
- обработку результатов лабораторной работы и оформление отчета;
- подготовку к защите результатов лабораторной работы;
- подготовку к семинарским занятиям, контрольным работам, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студентов осуществляется в форме собеседований, проверкой и приемом заданий, проведением групповых контрольных работ.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра общей физики
курс:	1
квалификация:	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Дифференцированный зачет	
Разработчик:	В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой

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-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Молекулярная физика и термодинамика» обучающийся должен:

знать:

- ☐ фундаментальные законы и понятия термодинамики и молекулярной физики, а также границы их применимости:
- ☐ основные законы термодинамики (0,1, 2, 3 «начала»)
- ☐ понятие о равновесных и неравновесных процессах, термодинамическое определение энтропии, закон возрастания энтропии, энтропия идеального газа
- ☐ основы молекулярно-кинетической теории (основное уравнение МКТ, длина свободного пробега, распределения Больцмана, Максвелла)
- ☐ основы статистической физики (статистический смысл энтропии, понятие о распределении Гиббса)
- ☐ основы квантовой теории теплоёмкости (степени свободы и их возбуждение, характеристические температуры)
- ☐ основы теории фазовых переходов (фазовые диаграммы, теплоты переходов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса)
- ☐ основы теории процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Коэффициенты переноса в газовых средах. Броуновское движение, закон Эйнштейна-Смолуховского. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии
- ☐ зависимость давления насыщенного пара от температуры, теплоемкость насыщенного пара
- ☐ основные положения стационарной динамики одномерных течений сжимаемой жидкости.

уметь:

- ☐ применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач термодинамики и молекулярной физики
- ☐ применять законы сохранения для расчёта процессов сжатия/расширения газов, в том числе: для расширения газа в пустоту; истечение газов из малого отверстия; течение в условиях эффекта Джоуля-Томсона
- ☐ рассчитывать КПД равновесных циклов тепловых и холодильных машин, в том числе заданных в координатах TS
- ☐ рассчитывать изменение энтропии в неравновесных процессах, а также максимальную и минимальную работы систем
- ☐ рассчитывать тепловые процессы с учётом наличия фазовых переходов и эффектов поверхностного натяжения
- ☐ рассчитывать тепловые процессы для неидеальных газов (для уравнения Ван-дер-Ваальса)
- ☐ пользоваться вероятностными распределениями, уметь вычислять средние значения и среднеквадратичные отклонения параметров для случаев распределений Больцмана и Максвелла.
- ☐ рассчитывать статистический вес и энтропию на основе статистической теории для простейших систем с дискретными энергетическими уровнями
- ☐ рассчитывать скорость переноса вещества (или тепла) при диффузии (или теплопроводности) в стационарных и квазистационарных случаях
- ☐ анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- ☐ применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- ☐ основными методами решения задач термодинамики и молекулярной физики;
- ☐ основными математическими инструментами, характерными для задач термодинамики и молекулярной физики.

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

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

Критерии оценивания

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

Методические материалы, относящиеся к курсу "Общая физика: термодинамика и молекулярная физика", находятся на сайте кафедры общей физики МФТИ: https://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/method/

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточный контроль знаний по лекционному курсу «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» осуществляется в форме дифференцированного зачета, оценка по которому выставляется студенту в зачетную сессию. Данный курс реализуется в учебном процессе как «факультативный» и предназначен в помощь студентам направления подготовки 09.03.01 – «Информатика и вычислительная техника», осваивающим курс «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика». Основным перечень оценочных средств для промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» приведен в РУП (код 26 113), прикрепленной к УП (код 20 420) В данном файле перечислены дополнительные требования, предъявляемые к студентам, выразившим желание сдавать дифференцированный зачет по данному лекционному курсу.

Студент, осваивающий лекционный курс «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика», должен овладеть теоретической составляющей дисциплины.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебникам, задачникам и учебно-методической литературе).

Дифференцированный зачет

При подготовке к дифференцированному зачету студентам рекомендуется руководствоваться следующей программой курса:

1. Предмет и основные задачи молекулярной физики и термодинамики. Основные положения молекулярно-кинетической теории вещества (МКТВ). Основные параметры в МКТВ и порядки их величин. Идеальный и неидеальный газы; разреженный газ.

2. Распределение молекул разреженного газа в пространстве. Биноминальное распределение. Нормировка. Средние величины и дисперсии. Флуктуации числа частиц в заданном объеме.

3. Распределения Гаусса и Пуассона. Нормировка. Средние величины и дисперсии распределений.

4. Распределение молекул разреженного газа по скоростям. Понятие о распределении молекул разреженного газа по скоростям. Гипотеза о «молекулярном хаосе». Время свободного пробега молекул газа. Принцип детального баланса. Вывод равновесного распределения по скоростям (функции распределения Максвелла) из принципа детального баланса. Основные свойства функции распределения Максвелла. Газокинетическая температура. Характерные скорости молекул.

5. Плотности молекулярных потоков массы, импульса и энергии. Определение плотностей молекулярных потоков массы, импульса и энергии в разреженных газах с помощью функции распределения по скоростям. Общие выражения. Давление идеального газа на стенку. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Законы Бойля-Мариотта, Гей-Люссака, Шарля, Авогадро и Дальтона. Идеально-газовый термометр.

6. Средняя энергия молекул многоатомного идеального газа. Распределение Больцмана в однородном гравитационном поле (барометрическая формула). Средняя энергия молекул идеального изотермического газа в однородном гравитационном поле. Теорема о равномерном распределении энергии по степеням свободы (без доказательства). Средняя энергия

поступательных, вращательных и колебательных степеней свободы линейных молекул идеального газа. Характеристические температуры. Ограниченность теоремы о равнораспределении.

7. Первое начало термодинамики. Теплота, внутренняя энергия, работа и энтальпия. Основные теплофизические характеристики вещества: теплоемкость и термические коэффициенты. Соотношение Майера для теплоемкостей идеального газа.

8. Квазистатические процессы с идеальным газом. Политропический процесс и его частные случаи. Уравнение политропы и его частные случаи. Графическое изображение квазистатических процессов. Замкнутые (круговые) квазистатические процессы и их практическое значение.

9. Цикл Карно. Энтропия равновесного идеального газа. Термодинамическая шкала температур. Связь термодинамической шкалы температур со шкалой идеально-газового термометра.

10. Характеристические функции и термодинамические потенциалы. Общие представления о методе термодинамических функций (потенциалов) и методе циклов в равновесной термодинамике. Вывод основного термодинамического тождества.

11. Обратимые и необратимые процессы. Неравновесные процессы. Процессы переноса в локально-равновесных средах. Основные отличия в математическом описании квазистатических и неравновесных процессов. Диффузия, вязкое трение и теплопроводность – основные сведения. Кинетические коэффициенты. Характерные времена. Примеры. Броуновское движение. Объяснение закономерностей броуновского движения с позиций молекулярно-кинетической теории вещества.

12. Второе начало термодинамики. Общая математическая формулировка второго начала термодинамики. Объединённое уравнение первого и второго начал термодинамики. Статистический смысл второго закона термодинамики. Формула Больцмана и флуктуации. Изменение энтропии при диффузионном смешении идеальных газов и парадокс Гиббса.

13. Третье начало термодинамики. Поведение теплофизических характеристик вещества вблизи абсолютного нуля. Изменение энтропии и теплоёмкости при приближении температуры к абсолютному нулю. Теорема Нернста (третье начало термодинамики).

14. Реальные газы, газ Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Физический смысл его членов. Критические параметры вещества и закон соответственных состояний.

15. Термодинамические свойства газа Ван-дер-Ваальса: внутренняя энергия, энтропия, теплоемкость. Процесс Джоуля-Томсона.

16. Фазовые переходы. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса и их связь с изотермами реального вещества. Фазовые переходы «газ-жидкость». Теплота перехода. Правило Максвелла и правило рычага.

17. Условия фазового равновесия и уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Химический потенциал фазы. Фазовые диаграммы.

18. Зависимость давления насыщенного пара от температуры и теплоемкость насыщенного пара. Кипение, конденсация и метастабильные состояния.

19. Элементарная механика и термодинамика потоков сжимаемого невязкого газа. Уравнения стационарного движения адиабатного одномерного потока сжимаемого невязкого газа и их интегралы. Разгон потока газа до сверхзвуковых скоростей. Сопло Лавалья. Основные особенности сверхзвуковых течений. Ударные волны сжатия в сверхзвуковых потоках газа в свете второго начала термодинамики.

Дифференцированный зачет студенты сдают преподавателю, ведущему в учебной группе семинары по физике. Он реализуется в форме беседы преподавателя со студентом по 2-3 произвольно выбранным пунктам приведенной выше программы курса.

4. Критерии оценивания

По итогам беседы преподаватель оценивает ответ студента согласно приведённым ниже критериям:

- Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы.
- Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему систематизированные знания учебной программы.
- Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему с систематизированные знания учебной программы, но допустившему некоторые неточности при ответе.
- Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и формальное понимание материала не менее чем в 70% заданных вопросов по темам учебной программы.
- Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и формальное понимание материала не менее чем в 60% заданных вопросов по темам учебной программы.
- Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и формальное понимание материала не менее чем в 50% заданных вопросов по темам учебной программы.
- Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допуская неточности в формулировке основных законов и базовых понятий.
- Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний.
- Оценка **«неудовлетворительно (2)»** или **«неудовлетворительно (1)»** выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или неспособен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.