

**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:	Общая физика: термодинамика и молекулярная физика
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) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 2

Программу составил: В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 20.06.2023

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, теплосодержание 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	6	10
2	Распределения Гаусса и Пуассона. Флуктуации числа частиц в заданном объеме		2	4	8
3	Распределение Максвелла		2		8
4	Плотности молекулярных потоков		2	2	8
5	Давление в идеальном газе. Распределение Больцмана		4		10
6	Первое начало термодинамики		4	6	10
7	Функции состояния		2	4	8
8	Процессы переноса. Броуновское движение		2	8	9
9	Второе начало термодинамики и его статистический смысл		4		8
10	Фазовые переходы		2		6
11	Элементарная термодинамика газовых потоков		2		5
Итого часов			30	30	90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 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.
- Учебные аудитории, оснащённые доской.
- 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) - Экзамен	
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 «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» 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

С целью контроля освоения обучающимися учебного материала проводится устный опрос в начале занятия по теме прошлого занятия.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика» осуществляется в форме дифференцированного зачета и экзамена. Зачет проводится в устной форме, а экзамен – в письменной и устной форме.

Дифференцированный зачет

Для получения зачёта студенту необходимо в установленные учебным графиком сдать два задания и выполнить установленное учебным графиком количество лабораторных работ. Выполнение каждой работы из индивидуального семестрового графика лабораторных работ (маршрута) обучающегося состоит из четырех этапов:

1. Подготовка к выполнению работы. Она производится, как правило, в течение недели, предшествующей лабораторному эксперименту, и включает в себя изучение описания работы и рекомендованной в описании учебной литературы, в которой излагается теория исследуемого явления, а также оформление в соответствии с действующими правилами лабораторного журнала студента.

2. Экспериментальные измерения в лаборатории. Этот этап начинается с допуска студента к работе преподавателем, проводящим в лаборатории занятия учебной группы. Он подразумевает проверку готовности студента к выполнению работы, включая его ответы на контрольные вопросы, с выставлением оценки в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка» (по 10-балльной системе). В случае неготовности к проведению измерений студент не допускается к выполнению лабораторной работы, о чем делается соответствующая отметка в кафедральном журнале учебной группы. В дальнейшем, по мере готовности, он выполняет измерения во внеурочное время.

Допущенный к работе студент по окончании измерений предъявляет результаты преподавателю, а тот предлагает ему выполнить контрольный расчет параметров в соответствии с рабочими формулами для одной - двух экспериментальных точек. Если результаты расчета соответствуют прогнозируемым значениям – преподаватель ставит свою подпись в лабораторном журнале студента, а также оценку в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка», если – нет, то предпринимаются меры по выяснению причин расхождения, включая повторные измерения.

3. Обработка результатов лабораторного эксперимента производится студентом самостоятельно в соответствии с действующими правилами (см.: «Лабораторный практикум по общей физике: в 3 т. Т. 1 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна». – М.: МФТИ, 2012). По завершении обработки результатов обучающийся должен подготовиться к защите лабораторной работы. Такая подготовка включает в себя самостоятельную проверку и анализ результатов обработки, подготовку ответов на контрольные вопросы из описания лабораторной работы, а также проработку по рекомендованным в описании учебникам теоретического материала, относящегося к изучаемой теме.

4. Защита лабораторной работы обучающимся производится в контрольные сроки, указанные в его индивидуальном семестровом графике лабораторных работ, во время занятий в лаборатории согласно действующему расписанию. Лабораторная работа, не представленная к защите в течение месяца после лабораторного эксперимента, аннулируется преподавателем. Вместо нее студенту назначается другая из имеющегося перечня лабораторных работ.

Защита лабораторной работы подразумевает, прежде всего, проверку преподавателем результатов обработки данных экспериментальных измерений на их соответствие теоретической модели изучаемого явления или физического процесса. За оформление отчета и качество обработки результатов преподаватель проставляет третью

оценку в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка». Если окажется, что результаты значительно расходятся с табличными значениями измеренных параметров, и причину расхождения обнаружить и устранить не удастся, студент может быть направлен преподавателем на выполнение повторных измерений и пересчет результатов.

В случае неудовлетворительного оформления отчета по результатам измерений студент также может быть отстранен преподавателем от защиты работы для устранения недочетов до следующего занятия по расписанию.

Обязательным при защите результатов лабораторной работы является установление степени освоения студентом теории исследуемого явления или физического процесса. Для этого преподаватель может использовать список контрольных вопросов из описания лабораторной работы. Преподаватель также может предложить студенту выполнить оценку вклада в погрешность измерений факторов, не учтенных в используемых при расчетах рабочих формулах.

По итогам защиты результатов работы преподаватель ставит в кафедральный журнал учебной группы четвертую оценку в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка». Итоговая оценка (по 10-балльной шкале) за выполненную студентом лабораторную работу определяется как $1/6$ (с округлением до целого) от суммы четырех перечисленных выше оценок, при этом четвертая оценка за качество усвоения студентом теории исследуемого явления или физического процесса должна быть умножена на коэффициент «3».

По окончании семестра каждый обучающийся должен получить дифференцированный зачет по дисциплине «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика». К сдаче зачета допускаются только студенты, успешно сдавшие два задания, выполнившие и успешно защитившие в соответствии с индивидуальным графиком все лабораторные работы. Итоговая оценка определяется как полусумма (с округлением до целого значения по 10-балльной системе) средних арифметических баллов оценок за задания и за лабораторные работы. В исключительных случаях со студентом, допускавшим в течение семестра нарушения учебного графика, может быть проведено дополнительное собеседование с целью установления степени освоения им программы дисциплины.

Экзамен

Семестровый экзамен состоит из двух частей: письменной и устной, причем в экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента экзаменатором ставится одна общая оценка. Студенты, не имеющие дифференцированного зачета по дисциплине «Общая физика: термодинамика и молекулярная физика», к устному экзамену не допускаются.

На письменном экзамене студенту предлагается решить 5 задач в течение 4 часов. Тематика задач полностью соответствует программе курса, однако все задачи письменного экзамена являются полностью оригинальными. С примерами задач прошлых лет можно ознакомиться на сайте кафедры общей физики в разделе экзаменационных материалов за 2-й семестр https://mipt.ru/education/chair/physics/S_II/ekzams/. По итогам письменного экзамена студенту выставляется промежуточная оценка. Один из возможных вариантов определения такой оценки представлен в ниже приведенной таблице (итоговая оценка за работу (по 10-балльной шкале) определяется как сумма баллов по всем задачам с округлением до ближайшего (сверху) целого):

ИНСТРУКЦИЯ ДЛЯ ПРОВЕРЯЮЩИХ		
+	4	Задача решена верно (т. е. приведено обоснованное правильное решение). Возможно наличие мелких недочётов (несущественные арифметические ошибки)
±	3	Задача решена правильно, но отсутствует численный ответ, или численный ответ на порядок и более отличается от правильного
+/-	2	Задача не решена, но основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно (при этом выкладки начаты, но не доведены до конца, либо в выкладках есть существенные ошибки, приведшие к неверному решению)
∓	1	Задача не решена. Основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно. Выкладки либо отсутствуют, либо они изначально неверны
–	0	Задача не решена, но была безуспешная попытка решить
0	0	Попытки решить задачу не было

Максимум за задачу — 4 очка. Итоговая оценка за работу определяется исходя из суммы баллов Σ по всем задачам.

Примечание. За решения задач с явными признаками списывания ставится 0 баллов.

Таблица соответствия:

Σ	0-1	2-3	4-5	6-7	8-9	10-11	12-13	14-15	16-17	18-20
Оценка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	неуд.		удовл.		хор.			отл.		

В дальнейшем она учитывается на устном экзамене при выставлении итоговой экзаменационной оценки по дисциплине.

На устном экзамене студент должен изложить экзаменатору материал экзаменационного билета (случайным образом выбранный вопрос из программы) и так называемый «вопрос по выбору». Его студент готовит заранее. Это может быть либо углубленное изложение одного из вопросов программы курса, либо вопрос, отсутствующий в программе курса, но имеющий непосредственное отношение к изучаемой дисциплине, а также изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

При подготовке к устному экзамену рекомендуется использовать следующий список экзаменационных вопросов:

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 равнораспределении 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 Лаваля. Основные особенности сверхзвуковых течений. Ударные волны сжатия в сверхзвуковых потоках газа в свете второго начала термодинамики.

Примеры экзаменационных билетов

БИЛЕТ № 01

1. Вопрос по выбору.
2. Распределения Гаусса и Пуассона. Нормировка. Средние величины и дисперсии распределений.

БИЛЕТ № 02

1. Вопрос по выбору.
2. Реальные газы, газ Ван-дер-Ваальса. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Физический смысл его членов. Критические параметры вещества и закон соответственных состояний.

БИЛЕТ № 03

1. Вопрос по выбору.
2. Элементарная механика и термодинамика потоков сжимаемого невязкого газа..

4. Критерии оценивания

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка с согласия лектора курса может быть повышена, но не более чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

- Оценка «**отлично (10)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также

умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

- Оценка «**отлично (9)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

- Оценка «**отлично (8)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

- Оценка «**хорошо (7)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

- Оценка «**хорошо (6)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

- Оценка «**хорошо (5)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

- Оценка «**удовлетворительно (4)**» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

- Оценка «**удовлетворительно (3)**» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

- 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.

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

Порядок проведения письменного экзамена.

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене предлагаются для решения 5 оригинальных задач. Темы соответствуют темам семинарских занятий. 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). На экзамене разрешается пользоваться любыми записями и учебными пособиями в бумажном виде. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

Порядок проведения устного экзамена.

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углубленное изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов (без учета времени на подготовку).

Примеры простых задач, решение которых необходимо для получения удовлетворительной оценки:

- Найти внутреннюю энергию идеального газа с постоянной теплоёмкостью CV , имеющего давление P и объём V .
- Выразить давление идеального газа через концентрацию и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул.
 - Записать первое начало термодинамики в дифференциальном виде.
 - Рассчитать работу идеального газа в изотермическом/адиабатическом процессе.
 - Вывести уравнение адиабаты идеального газа.
 - Получить разность $CP - CV$ для идеального газа.
 - Адиабатическое истечение газов. Скорость звука
 - Найти скорость истечения идеального одноатомного газа при температуре T в пустоту через отверстие.
 - Рассчитать скорость звука в воздухе при комнатной температуре.
 - Изобразить цикл Карно в координатах TS . Указать на графике теплоты нагревателя и холодильника, а также работу в цикле.
 - Получить выражение для КПД идеальной тепловой машины Карно.
 - Системе сообщили тепло Q при температуре T . Чему может быть равно изменение энтропии dS ?
 - Дать статистическое определение энтропии. Чем определяется равновесное состояние?
 - Найти изменение энтропии моля идеального газа при переходе между двумя состояниями с заданными T и V (или T и P).
 - Два твёрдых тела с известными теплоёмкостями, имеющих различные температуры, привели в тепловой контакт. Найти изменение энтропии системы к моменту установления равновесия.

- Найти изменение энтропии идеального газа при неравновесном расширении в пустоту в теплоизолированной оболочке.
- Написать дифференциал внутренней энергии/энтальпии/свободной энергии/термодинамического потенциала Гиббса.
- Получить выражение для энтальпии идеального газа с постоянной теплоёмкостью C_p .
- В процессе при постоянном давлении к системе подвели теплоту Q . Найти изменение энтальпии системы.
- В изотермическом процессе над системой совершена работа A . Найти изменение свободной энергии системы.
- Чему равно давление насыщенных паров воды при температуре 100С?
- Получить зависимость давления насыщенных паров воды от температуры.
- Изобразить фазовую диаграмму воды.
- Написать уравнение Ван-дер-Ваальса и указать физический смысл входящих в него констант.
- В координатах PV изобразить схематично семейство изотерм газа Ван-дер-Ваальса и соответствующих изотерм реального газа.
- Найти изменение температуры газа Ван-дер-Ваальса при неравновесном расширении в пустоту в теплоизолированной оболочке.
- Найти изменение температуры идеального газа в эффекте Джоуля—Томсона.
- Найти давление внутри мыльного пузыря.
- Найти высоту подъёма воды в капилляре с известным углом смачивания.
- Выразить свободную энергию поверхности жидкости через коэффициент поверхностного натяжения.
- Написать (с точностью до нормировочной константы) и схематично изобразить на графике распределение Максвелла по проекциям скорости на ось x .
- Написать (с точностью до нормировочной константы) и схематично изобразить на графике распределение Максвелла по модулям скоростей.
- Написать выражения для среднеквадратичной и наиболее вероятной скоростей молекул.
- Найти количество частиц, ударяющихся в секунду о площадку площади S в газе с температурой T и давлением P .
- Вывести барометрическую формулу для изотермической атмосферы.
- Энергия атома в возбуждённом состоянии на E больше, чем в основном. Найти долю возбуждённых атомов в системе при температуре T . Другие уровни энергии не учитывать.
- Сформулировать теорему о равнораспределении энергии по степеням свободы. Какая энергия приходится на одну полностью возбужденную колебательную степень свободы молекулы?
- Построить схематично график зависимости молярной теплоёмкости C_V двухатомного газа (азота) от температуры.
- Среднее число частиц идеального газа в некотором мысленно выделенном объёме равно N . Оценить среднеквадратичную флуктуацию числа частиц в нём.
- Найти среднеквадратичное отклонение груза на пружине жёсткостью k от положения равновесия при температуре T .
- Получить оценочную формулу для длины свободного пробега молекул в газе твердых шариков.
- Дать определение плотности потока частиц (тепла, импульса) и коэффициента диффузии (теплопроводности, вязкости).
- Написать оценку коэффициента диффузии/теплопроводности/вязкости в идеальном

газе с известными параметрами.

- Как коэффициент теплопроводности газа в некотором сосуде зависит от давления (в том числе при высоком вакууме)?
- Написать условие равновесия между двумя сосудами с идеальными газами, соединенными тонкой трубкой, если радиус трубки много меньше длины свободного пробега (эффект Кнудсена).
- Коэффициент диффузии частиц равен D . Оценить среднеквадратичное смещение частицы в пространстве от исходного положения за время t .
- Дать определение подвижности частицы и написать связь подвижности броуновской частицы с коэффициентом диффузии.