

**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**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: термодинамика и молекулярная физика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 45 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

Э.В. Прут, д-р хим. наук, профессор, профессор

В.С. Булыгин, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор

К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

В.А. Овчинкин, канд. техн. наук, доцент, доцент

Н.А. Кириченко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 20.06.2023

## Аннотация

Курс общей физики является переходным от школьной физики к курсам теоретической физики и специализированным курсам экспериментальной физики. Для освоения дисциплины «Термодинамика и молекулярная физика» обучающийся должен обладать знаниями и умениями в объеме курса физики и математики средней школы.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области механики для дальнейшего изучения других разделов физики и углубленного изучения фундаментальных основ статистической физики и физической кинетики.

#### 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 общепредметной 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-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
	УК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений
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
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин

ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

### 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 (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, закон Дюлонга-Пти);
- основы теории фазовых переходов (фазовые диаграммы, теплоты переходов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса);
- основные законы поверхностного натяжения (коэффициент поверхностного натяжения, формула Лапласа, внутренняя энергия единицы поверхности);
- основы теории процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Коэффициенты переноса в газовых средах. Броуновское движение, закон Эйнштейна-Смолуховского. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии.

уметь:

- применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач механики;
- 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. работа
1	Основные понятия молекулярной физики	2			4
2	Термодинамические процессы. Первое начало термодинамики	2	2		3
3	Второе начало термодинамики. Энтропия.	4	4		3
4	Термодинамические функции и их свойства	2	4		3
5	Фазовые переходы	2	2		3
6	Реальные газы	2	2		3
7	Поверхностные явления.	2	2		4
8	Элементы теории вероятностей.	2	2		3
9	Распределения Максвелла и Больцмана.	2	2		3
10	Основы статистической физики.	2	2		4
11	Теория теплоёмкостей.	2	2		3

12	Флуктуации.	2	2		3
13	Элементы физической кинетики.	2	2		3
14	Броуновское движение. Явления переноса в разреженных газах.	2	2		3
Итого часов		30	30		45
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

##### 1. Основные понятия молекулярной физики

Основные понятия молекулярной физики и термодинамики: предмет исследования, его характерные особенности. Задачи молекулярной физики. Макроскопические параметры. Агрегатные состояния вещества. Уравнения состояния (термическое и калорическое). Идеальный и неидеальный газы. Давление идеального газа как функция кинетической энергии молекул. Соотношение между температурой идеального газа и кинетической энергией его молекул. Законы идеальных газов. Уравнения состояния идеального газа.

Термодинамическая система. Термодинамические параметры. Нулевое начало термодинамики. Определение температуры идеального газа. Равновесное и неравновесное состояния. Квазистатические, обратимые и необратимые термодинамические процессы.

##### 2. Термодинамические процессы. Первое начало термодинамики

Работа, теплота, внутренняя энергия. Функции состояния. Термическое и калорическое уравнения состояния. Первое начало термодинамики. Циклические процессы. Работа при циклическом процессе.

Теплоёмкость. Теплоёмкость идеальных газов при постоянном объёме и постоянном давлении, уравнение Майера.

Адиабатический и политропический процессы. Уравнения адиабаты и политропы для идеального газа. Независимость внутренней энергии идеального газа от объёма.

Скорость звука в газах. Энтальпия. Зависимость энтальпии идеального газа от давления. Скорость истечения газа из отверстия.

##### 3. Второе начало термодинамики. Энтропия.

Формулировки второго начала. Тепловая машина. Определение КПД тепловой машины. Цикл Карно. Теорема Карно. Неравенство Клаузиуса. Максимальность КПД цикла Карно по сравнению с другими термодинамическими циклами.

Холодильная машина. Эффективность холодильной машины. Тепловой насос. Эффективность теплового насоса, работающего по циклу Карно. Связь между коэффициентами эффективности теплового насоса и холодильной машины.

Термодинамическое определение энтропии. Закон возрастания энтропии. Энтропия идеального газа. Энтропия в обратимых и необратимых процессах. Адиабатическое расширение идеального газа в вакуум. Объединённое уравнение первого и второго начал термодинамики.

Третье начало термодинамики. Изменение энтропии и теплоёмкости при приближении температуры к абсолютному нулю.

##### 4. Термодинамические функции и их свойства

Свойства термодинамических функций. Максимальная и минимальная работа. Преобразования термодинамических функций. Соотношения Максвелла. Зависимость внутренней энергии от объёма. Зависимость теплоёмкости от объёма. Соотношение между  $C_P$  и  $C_V$ .

Теплофизические свойства твёрдых тел. Термодинамика деформации твёрдых тел. Изменение температуры при адиабатическом растяжении упругого стержня. Тепловое расширение как следствие ангармоничности колебаний в решётке. Коэффициент линейного расширения стержня.

## 5. Фазовые переходы

Фазовые переходы I и II рода. Химический потенциал. Условие равновесия фаз. Кривая фазового равновесия. Уравнение Клапейрона–Клаузиуса. Диаграмма состояния двухфазной системы «жидкость–пар». Зависимость теплоты фазового перехода от температуры. Критическая точка. Тройная точка. Диаграмма состояния «лёд–вода–пар». Метастабильные состояния. Перегретая жидкость и переохлаждённый пар.

## 6. Реальные газы

Газ Ван-дер-Ваальса как модель реального газа. Изотермы газа Ван-дер-Ваальса. Уравнение адиабаты газа Ван-дер-Ваальса. Правило Максвелла и правило рычага. Критические параметры и приведённое уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. Адиабатическое расширение газа Ван-дер-Ваальса в вакуум. Энтропия газа Ван-дер-Ваальса. Эффект Джоуля–Томсона. Адиабатическое расширение, дросселирование.

## 7. Поверхностные явления.

Термодинамика поверхности. Свободная энергия поверхности. Краевые углы. Смачивание и несмачивание. Формула Лапласа. Зависимость давления пара от кривизны поверхности жидкости. Кипение. Роль зародышей при образовании новой фазы.

## 8. Элементы теории вероятностей.

Условие нормировки. Средние величины и дисперсия. Биномиальный закон распределения. Распределение Пуассона. Распределение Гаусса.

## 9. Распределения Максвелла и Больцмана.

Распределения Максвелла. Распределение частиц по компонентам скорости и абсолютным значениям скорости. Доля молекул, лежащих в заданном интервале скоростей. Наиболее вероятная, средняя и среднеквадратичная скорости. Распределения Максвелла по энергиям. Среднее число ударов молекул, сталкивающихся в единицу времени с единичной площадкой. Средняя энергия молекул, вылетающих в вакуум через малое отверстие в сосуде.

Распределение Больцмана в однородном поле сил. Барометрическая формула. Распределение Максвелла–Больцмана.

## 10. Основы статистической физики.

Динамические и статистические закономерности. Макроскопические и микроскопические состояния. Фазовое пространство. Представление о распределении Гиббса. Микро- и макросостояния. Статистический вес макросостояния. Статистическая сумма и её использование для нахождения внутренней энергии. Энергия, теплоёмкость, энтропия газа, молекулы которого имеют два дискретных энергетических уровня.

Статистическое определение энтропии. Аддитивность энтропии. Закон возрастания энтропии. Статистическая температура. Энтропия при смешении газов. Парадокс Гиббса.

## 11. Теория теплоёмкостей.

Классическая теория теплоёмкостей. Закон равном распределения энергии теплового движения по степеням свободы. Теплоёмкость кристаллов (закон Дюлонга–Пти). Элементы квантовой теории теплоёмкостей. Характеристические температуры. Зависимость теплоёмкости от температуры.

## 12. Флуктуации.

Средние значения энергии и дисперсии (среднеквадратичной флуктуации) энергии частицы. Флуктуации и распределение Гаусса. Флуктуации термодинамических величин. Флуктуация температуры в фиксированном объёме. Флуктуация объёма в изотермическом и адиабатическом процессах. Флуктуации аддитивных физических величин. Зависимость флуктуаций от числа частиц, составляющих систему. Влияние флуктуаций на чувствительность измерительных приборов (на примере пружинных весов).

## 13. Элементы физической кинетики.

Столкновения. Эффективное газокинетическое сечение. Длина свободного пробега. Распределение молекул по длинам свободного пробега. Число столкновений молекул между собой. Явления переноса: вязкость, теплопроводность и диффузия. Законы Фика и Фурье. Коэффициенты вязкости, теплопроводности и диффузии в газах.

## 14. Броуновское движение. Явления переноса в разрежённых газах.

Подвижность. Закон Эйнштейна–Смолуховского. Связь подвижности частицы и коэффициента диффузии. Эффект Кнудсена. Эффекция. Течение разрежённого газа через прямолинейную трубу.

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

Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном.

Оборудование для лекционных демонстраций.

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. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 1 : Термодинамика и молекулярная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Д. Гладуна ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т). — 3-е изд., испр. — М. : МФТИ, 2012. — 292 с.

6. 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
7. 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.
8. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

#### Дополнительная литература

1. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика [Текст] : учеб. пособ. для вузов / Л. Д. Ландау, А. И. Ахиезер, Е. М. Лифшиц .— 2-е изд., испр. — М. : Наука, 1969 .— 400 с.
2. 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.
3. Методы решения задач в общем курсе физике. Термодинамика и молекулярная физика [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. П. Корявов .— М. : Высшая школа, 2009 .— 358 с.
4. Энтропия [Текст] : уч. пособие для вузов : рек. УМО Моск. физико-техн. ин-та / Д. А. Заикин ; М-во образов. РФ, Моск. физико-техн. ин-т .— М. : МФТИ, 2003 .— 56 с.
5. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / И. Ф. Щеголев .— 2-е изд., испр. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 208 с.

#### Рекомендованная литература для самостоятельного изучения.

1. Статистическая физика [Текст] : Т. 5 / Ф. Рейф ; пер. с англ. ; под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга .— М. : Наука, 1972 .— 352 с.
2. Термодинамика [Текст] : учебник для ун-тов / И. П. Базаров .— 4-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 1991 .— 376 с.
3. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур [Текст] : [учебник для вузов] / И. Пригожин, Д. Кондепуди ; пер. с англ. Ю. А. Данилова, В. В. Белого ; под ред. Е. П. Агеева .— М. : Мир, 2002 .— 461 с.
4. Некоторые задачи теории теплопроводности [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. С. Булыгин ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : Изд-во МФТИ, 2006 .— 64 с.
5. Термодинамика, статистическая физика и кинетика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин .— / 3-е изд., перераб. — Новосибирск : Изд-во Новосибир. ун-та, 2000, 2001 .— 608 с.
6. Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б. Введение в теорию вероятностей в молекулярной физике. — М.: МФТИ. 2002.
7. Прут Э.В., Кленов С.Л., Овсянникова О.Б. Элементы теории флуктуаций и броуновского движения в молекулярной физике. — М.: МФТИ., 2002.
8. Прут Э.В. Теплофизические свойства твёрдых тел. — М.: МФТИ. 2009.
9. Булыгин В.С. Теоремы Карно. — М.: МФТИ, 2012.
10. Булыгин В.С. Теплоёмкость и внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса. — М.: МФТИ, 2012.
11. Попов П.В. Диффузия. Ч.1. Элементарная теория, Ч. 2. Случайные блуждания — М.: МФТИ, 2016.

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

1. [http://mipt.ru/education/chair/physics/S\\_II/method/](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)**



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 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:

- 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 лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

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).

При подготовке к практическим занятиям необходимо ознакомиться с основными понятиями и законами, которыми будет посвящено занятие, и решить задачи, предусмотренные для подготовки по теме семинара.

В курсе широко используются понятия и методы математического анализа функций многих переменных и теории вероятностей. Эти дисциплины изучаются параллельно с курсом общей физики. Если студент сталкивается с математическим понятием, которое еще не было изучено в рамках упомянутых математических курсов, он должен предварительно ознакомиться с соответствующим разделом математики самостоятельно. Необходимый минимум математических сведений излагается как на лекциях, так и в основной учебной литературе, рекомендуемой для изучения данной дисциплины.

Промежуточный контроль знаний проводится в виде контрольной работы, на которой студенту предлагается решить пять задач по пройденным темам в формате, аналогичном письменному экзамену. Для проверки знаний, а также понимания и владения материалом, в процессе сдачи заданий преподаватель может задавать студенту дополнительные теоретические вопросы по программе курса или давать для решения дополнительные задачи. Обязательным требованием является выполнение домашних работ, которые оформляются в специально отведённой для этого тетради и систематически сдаются на проверку.

На письменном экзамене студенту предлагается решить 5 задач. Тематика задач полностью соответствует программе курса, однако все задачи письменного экзамена являются полностью оригинальными. На экзамене студентам разрешено пользоваться любой справочной или учебной литературой. Такая форма экзамена исключает бездумное заучивание законов и направлена на проверку глубины понимания материала и способности самостоятельно применять физические законы в нестандартной ситуации.

Помимо изучения разделов механики, обозначенных в программе курса, студенту рекомендуется самостоятельно изучать различные вопросы, относящиеся к общей физике (механике), возможно выходящие за рамки программы, расширяя таким образом свой физический кругозор. На экзамене студенту предлагается в качестве одного из пунктов билета выбрать и рассказать любой заранее подготовленный теоретический или экспериментальный вопрос, имеющий отношение к пройденному курсу (это может быть либо углубленное изложение одного из вопросов программы курса либо вопрос, не затрагиваемый в программе курса, который однако может быть рассмотрен в рамках изученного курса), продемонстрировав таким образом способность самостоятельно разбираться в различных вопросах и задачах физики, основываясь на применении единых общезначимых законов.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Физика перспективных технологий: электроника и квантовые технологии Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
<b>курс:</b>	1
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

**Разработчики:**

Э.В. Прут, д-р хим. наук, профессор, профессор  
В.С. Булыгин, канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор  
К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
В.А. Овчинкин, канд. техн. наук, доцент, доцент  
Н.А. Кириченко, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор  
П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-2 Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	УК-2.1 Формулирует совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определяет ожидаемые результаты решения поставленных задач
	УК-2.2 Проектирует решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений
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
ОПК-4 Способен осуществлять сбор и обработку научно-технической и (или) технологической информации для решения фундаментальных и прикладных задач	ОПК-4.1 Владеет методами научного поиска и интеллектуального анализа информации при решении задач профессиональной деятельности
	ОПК-4.2 Знает основные источники научно-технической и (или) технологической информации в области профессиональной деятельности
	ОПК-4.3 Умеет составлять аннотации, рефераты, библиографические перечни и обзоры информации в области своей профессиональной деятельности
	ОПК-4.4 Владеет навыками работы с компьютером и компьютерными сетями с целью получения, хранения и обработки научной (технической, технологической) информации
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов

## 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 (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, закон Дюлонга-Пти);
- основы теории фазовых переходов (фазовые диаграммы, теплоты переходов, уравнение Клапейрона-Клаузиуса);
- основные законы поверхностного натяжения (коэффициент поверхностного натяжения, формула Лапласа, внутренняя энергия единицы поверхности);
- основы теории процессов переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость. Коэффициенты переноса в газовых средах. Броуновское движение, закон Эйнштейна-Смолуховского. Связь между подвижностью и коэффициентом диффузии.

**уметь:**

- применять изученные общие физические законы для решения конкретных задач механики;
- 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**

1. Идеальный и неидеальный газы. Давление идеального газа как функция кинетической энергии молекул. Соотношение между температурой идеального газа и кинетической энергией его молекул.
2. Термодинамическая система. Микроскопические и макроскопические параметры. Уравнение состояния. Стационарные, равновесные и неравновесные состояния и процессы.

3. Работа, внутренняя энергия, теплота. Первое начало термодинамики.
4. Работа идеального газа в равновесных изотермическом и изобарическом процессах. Внутренняя энергия идеального газа.
5. Теплоёмкость. Теплоёмкости  $C_V$  и  $C_P$ . Теплоёмкости  $C_V$  и  $C_P$  идеального газа. Формула Майера.
6. Адиабатические и политропические процессы. Уравнение адиабаты и политропы для идеального газа.
7. Цикл Карно, КПД машины Карно. Теоремы Карно.
8. Второе начало термодинамики. Равенство и неравенство Клаузиуса. Энтропия. Закон возрастания энтропии.
9. Энтропия идеального газа.
10. Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла (соотношения взаимности). Уравнения Гиббса—Гельмгольца.
11. Связь производной  $\partial U/\partial V$  с уравнением состояния
12. Разность  $C_P - C_V$  в общем случае.
13. Фазовые переходы первого рода. Уравнение Клапейрона—Клаузиуса. Фазовое равновесие «жидкость—пар». Критическая точка.

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

1. Найти внутреннюю энергию идеального газа с постоянной теплоёмкостью  $C_V$ , имеющего давление  $P$  и объём  $V$ .
2. Выразить давление идеального газа через концентрацию и среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекул.
3. Записать первое начало термодинамики в дифференциальном виде.
4. Рассчитать работу идеального газа в изотермическом/адиабатическом процессе.
5. Вывести уравнение адиабаты идеального газа.
6. Получить разность  $C_P - C_V$  для идеального газа.
7. Адиабатическое истечение газов. Скорость звука
8. Найти скорость истечения идеального одноатомного газа при температуре  $T$  в пустоту через отверстие.
9. Рассчитать скорость звука в воздухе при комнатной температуре.
10. Изобразить цикл Карно в координатах  $TS$ . Указать на графике теплоты нагревателя и холодильника, а также работу в цикле.
11. Получить выражение для КПД идеальной тепловой машины Карно.
12. Системе сообщили тепло  $Q$  при температуре  $T$ . Чему может быть равно изменение энтропии  $dS$ ?
13. Дать статистическое определение энтропии. Чем определяется равновесное состояние?

Пример экзаменационного билета.

Билет 1:

1. Найти скорость истечения идеального одноатомного газа при температуре  $T$  в пустоту через отверстие.
2. Рассчитать скорость звука в воздухе при комнатной температуре.

#### Критерии оценивания

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 не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

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.