МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Кафедра микроэлектроники и общей физики

УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета
_____ И.С. Огнев
(подпись)

«17» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«Молекулярная физика»

Направление подготовки
03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль)
Телекоммуникационные системы и технологии

Форма обучения
очная

Программа одобрена
на заседании кафедры
от «25» апреля 2022 года, протокол № 6

Программа одобрена НМК
физического факультета
протокол № 5 от «11» мая 2022 года

Ярославль

1. Цели освоения дисциплины

– Формирование у студентов целостного представления о физических явлениях и законах в молекулярных системах, содержащих большое количество частиц.
– Ознакомление с теоретическими и экспериментальными методами изучения равновесных и близких к равновесию молекулярных систем и происходящих в них процессов. Формирование навыков решения задач по молекулярной физике и термодинамике.
– Рассмотрение практических реализаций законов молекулярной физики и термодинамики в технике.

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в модуль «Общая физика» обязательной части Блока 1. Изучается во втором семестре параллельно с лабораторным физическим практикумом по молекулярной физике.

При изучении дисциплины активно используется математический аппарат, изучаемый студентами в 1 и 2 семестрах. В свою очередь освоение теоретического материала и решение задач дают дополнительную возможность актуализировать математические знания и навыки в применении к количественному описанию физических явлений и процессов в области молекулярной физики и термодинамики.

Освоение дисциплины создает базу для дальнейшего изучения дисциплин теоретической физики, а также других дисциплин, формирующих общепрофессиональные и профессиональные компетенции.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих элементов компетенций в соответствии с ФГОС ВО, ООП ВО и приобретения следующих знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности:

Формируемая компетенция (код и формулировка)	**Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)**	**Перечень планируемых результатов обучения**
Общепрофессиональные компетенции		
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физики и радиофизики и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности.	**ИД-ОПК-1.1** Осуществляет постановку задачи, выбирает способ ее решения.	**Знать:** - основные положения молекулярно-кинетической теории, статистические методы молекулярной физики; - постулаты и принципы термодинамики, начала термодинамики; - закономерности поведения газов с межмолекулярным взаимодействием и двухфазных систем; - виды процессов переноса в газах, общее уравнение явлений переноса, связь между коэффициентами, характеризующими явления переноса; - системы единиц измерения физических величин, физические константы и их размерность. **Уметь:** - осуществлять качественный анализ процессов и явлений в условиях задачи; - формулировать ожидаемый результат решения и определять оптимальный алгоритм его получения. **Владеть навыками:**

Формируемая компетенция (код и формулировка)	Индикатор достижения компетенции (код и формулировка)	Перечень планируемых результатов обучения
		- использования понятийного аппарата и терминологии в области молекулярной физики и термодинамики.
	ИД-ОПК-1.2 Применяет математический аппарат, физические законы и теории для решения прикладных и теоретических задач, в том числе педагогической деятельности.	**Знать:** - основные законы молекулярной физики и термодинамики, их экспериментальное подтверждение и границы применимости; **Уметь:** - применять законы молекулярной физики и термодинамики для решения задач; - применять методы математического анализа для решения задач молекулярной физики и термодинамики. **Владеть навыками:** - практического применения математики при решении физических задач; - использования методов статистического и термодинамического описания систем многих частиц; - использования методов математической формализации законов молекулярной физики и термодинамики.

4. Объем, структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц, 180 акад. часов.

№ п/п	Темы (разделы) дисциплины, их содержание	Семестр	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу студентов, и их трудоемкость (в академических часах)						Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации *(по семестрам)*
			Контактная работа						
			лекции	практические	лабораторные	консультации	аттестационные испытания	самостоятельная работа	
1	Основы МКТ. Статистические распределения	2	16	20		2		10	Устный опрос. Контрольная работа № 1
2	Реальные газы	2	2			1		2	Устный опрос.
3	Первое начало термодинамики	2	8	8		2		4	Устный опрос. Контрольная работа № 2
4	Второе начало термодинамики	2	10	15		2		6	Устный опрос. Контрольная работа № 2
5	Фазовые равновесия и фазовые переходы.	2	4	2		1		3	Устный опрос. Контрольная работа № 2
6	Поверхностное натяжение	2	3	2		1		3	Устный опрос. Контрольная работа № 2

7	Процессы переноса в газах	2	4	2		1		3	Устный опрос. Контрольная работа № 2
8	Термодинамика равновесного излучения	2	4	2				1	
	Аттестация	2				2	0,5	33,5	Экзамен
	Всего		**51**	**51**		**12**	**0,5**	**65,5**	

Содержание разделов дисциплины

1. Основы МКТ. Статистические распределения.

Предмет молекулярной физики и термодинамики. Динамический, статистический и термодинамический методы описания состояний системы. Понятие микро- и макросостояния. Массы атомов и молекул. Гипотеза и постоянная Авогадро. Количество вещества. Модель идеального газа. Опытные законы идеальных газов. Идеально-газовая температурная шкала. Аддитивные и интенсивные параметры макросостояния.

Случайные величины. Вероятность. Частотное определение вероятности. Сложение вероятностей взаимоисключающих событий. Умножение вероятностей для независимых событий. Нормировка вероятности. Среднее значение дискретной случайной величины. Плотность вероятности. Среднее значение непрерывно изменяющейся величины. Дисперсия. Функция распределения. Распределение Гаусса и условия его применимости.

Равновесное макросостояние системы. Средняя кинетическая энергия молекул. Определение температуры. Распределение Максвелла по проекциям скорости. Распределение Максвелла по модулю скорости. Характерные скорости распределения Максвелла. Число молекул в различных участках распределения Максвелла. Экспериментальная проверка распределения Максвелла. Частота ударов молекул о стенку. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов. Уравнение Менделеева-Клапейрона. Закон Дальтона.

Температура. Способ измерения температуры. Эмпирическая шкала температур. Абсолютная термодинамическая шкала температур. Термометры. Абсолютный нуль. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.

Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Границы применимость распределений Максвелла и Больцмана. Атмосфера планеты. Экспериментальное определение числа Авогадро.

Принцип детального равновесия при столкновениях молекул. Вывод распределения Максвелла из принципа детального равновесия. Понятие о дрейфе молекул. Распределение Больцмана как равновесное распределение с учетом дрейфа в координатном пространстве и пространстве скоростей.

Понятие о флуктуациях. Броуновское движение. Формула Эйнштейна-Смолуховского.

2. Реальные газы

Взаимодействие молекул на малых и больших расстояниях. Введение поправок в уравнение состояние идеального газа, позволяющих учесть межмолекулярное взаимодействие. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса. Критическая точка. Закон соответственных состояний.

3. Первое начало термодинамики

Предмет термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Внутренняя энергия. Работа. Теплота. Первое начало термодинамики. Механический эквивалент тепла (опыт Джоуля). Молекулярно-кинетическая интерпретация первого начала термодинамики.

Функции состояния и полные дифференциалы. Принцип невозможности вечного двигателя 1 рода. Различные формулировки первого начала термодинамики.

Теплоемкость. Теплоемкость при постоянном объеме. Теплоемкость при постоянном давлении. Уравнение Майера. Расхождение теории теплоемкости идеального газа с экспериментом. Качественное объяснение зависимости теплоемкости молекулярного водорода от температуры.

Процессы в идеальных газах. Изобарический процесс. Изохорический процесс. Изотермический процесс. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты. Политропный процесс. Уравнение политропы. Отрицательные теплоемкости.

4. Второе начало термодинамики

Циклические процессы. Тепловые и холодильные машины. Работа в цикле. Цикл Карно. Постулат Клаузиуса. Теоремы Карно. Коэффициент полезного действия цикла Карно. Термодинамическое определение энтропии. Второе начало термодинамики. Термодинамическая шкала температур. Проблемы определения температуры в термодинамике (нулевое начало).

Принцип Томсона. Невозможность вечного двигателя 2 рода. Коэффициент полезного действия цикла. Различные формулировки второго начала термодинамики. Их эквивалентность. Циклы Отто и Дизеля.

Второе начало термодинамики для необратимых процессов. Закон возрастания энтропии. Неравенство Клаузиуса. Энтропия идеального газа. Расчет изменения энтропии в обратимых и необратимых процессах. Парадокс Гиббса.

Основное термодинамическое тождество. Понятие о термодинамических степенях свободы. Калорическое уравнение. Внутренняя энергия идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса. Независимость термического и калорического уравнений состояния.

Понятие о вероятности макросостояния. Связь энтропии с вероятностью. Статистический смысл второго начала термодинамики. Демон Максвелла.

Характеристические функции. Термодинамические потенциалы. Соотношения Максвелла. Экстремумы характеристических функций и условия равновесия.

Эффект Джоуля-Томсона и его объяснение в модели газа Ван-дер-Ваальса. Температура инверсии. Градуировка термометра в абсолютной термодинамической шкале.

Тепловая теорема Нернста. Третье начало термодинамики. Температурная зависимость теплоемкости вблизи абсолютного нуля. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Понятие об отрицательных абсолютных температурах.

5. Фазовые равновесия и фазовые переходы.

Условия равновесия фаз и фазовые переходы. Вырождение термодинамических степеней свободы при фазовых переходах. Кривые и области фазового равновесия. Фазовые переходы 1 и 2 рода.

Тройная точка. Правило фаз Гиббса.

Общие свойства фазовых переходов 1 рода. Скрытая теплота перехода. Формула Клапейрона-Клаузиуса. Давление насыщенного пара.

Критическая точка. Свойства вещества в критическом состоянии.

Переход из газообразного состояния в жидкое. Изотермы Ван-дер-Ваальса и реальные процессы испарения-конденсации. Область двухфазных состояний. Насыщенный пар. Правило Максвелла. Метастабильные состояния. Правило рычага. Непрерывность газообразного и жидкого состояний вещества.

Полиморфизм кристаллов и тройные точки. Роль зародышей фаз.

Сжижение газов и получение низких температур. Детандеры.

6. Поверхностное натяжение.

Свойства жидкого состояния. Строение жидкости. Термодинамика поверхностного натяжения. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.

Краевые углы. Смачивание и капиллярные явления.

7. Процессы переноса в газах.

Явление переноса в газах. Теплопроводность, диффузия, вязкое трение. Эмпирические уравнения и качественный анализ.

Эффективное сечение рассеяния. Среднее время и средняя длина свободного пробега. Зависимость средней длины свободного пробега от температуры (формула Сёзерленда).

Теплопроводность в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.

Диффузия в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория диффузии. Коэффициент диффузии.

Вязкое трение в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория вязкости. Коэффициент вязкости.

Связь между коэффициентами, характеризующими процессы переноса.

8. Термодинамика равновесного излучения.

Тепловое излучение. Равновесие излучения с макроскопическими телами. Объемная плотность энергии излучения. Спектральная плотность энергии и энтропии излучения. Спектральная энергетическая светимость.

Отражение, пропускание и поглощение электромагнитного излучения телами. Абсолютно черное тело. Связь спектральных плотностей энергетической светимости абсолютно черного тела и удельной энергии равновесного излучения.

Давление равновесного излучения.

Закон Кирхгофа.

Законы Стефана-Больцмана и Вина.

Уравнения состояния и термодинамические функции равновесного излучения.

5. Образовательные технологии, в том числе технологии электронного обучения и дистанционные образовательные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе обучения используются следующие образовательные технологии:

Вводная лекция – дает первое целостное представление о дисциплине и ориентирует студента в системе изучения данной дисциплины. Студенты знакомятся с назначением и задачами курса, его ролью и местом в системе учебных дисциплин и в системе подготовки в целом. Дается краткий обзор курса, история развития науки и практики, достижения в этой сфере, имена известных ученых, излагаются перспективные направления исследований. На этой лекции высказываются методические и организационные особенности работы в рамках данной дисциплины, а также дается анализ рекомендуемой учебно-методической литературы.

Академическая лекция (или лекция общего курса) – последовательное изложение материала, осуществляемое преимущественно в виде монолога преподавателя. Требования к академической лекции: современный научный уровень и насыщенная информативность, убедительная аргументация, доступная и понятная речь, четкая структура и логика, наличие ярких примеров, научных доказательств, обоснований, фактов.

Практическое занятие – занятие, посвященное освоению конкретных умений и навыков и закреплению полученных на лекции знаний. Практические занятия по механике проходят в форме решения задач с предварительным анализом их условий и последующим анализом результатов.

Электронный учебный курс «Молекулярная физика» в LMS Moodle

Курс предназначен для организации и методического сопровождения образовательного процесса в режиме on-line, для организации и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся в очном режиме, а также для частичного обеспечения текущего и итогового контроля результатов освоения дисциплины.

На странице курса https://moodle.uniyar.ac.ru/course/view.php?id=17839 представлены:

– тексты лекций;

– задачи для практических занятий с подробным решением;
– контрольные задания и тесты.

6. Перечень лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:
для формирования материалов для электронного учебного курса в LMS Moodle, для подготовки материалов текущего контроля успеваемости и проведения промежуточной аттестации, для формирования методических материалов по дисциплине:

- программы Microsoft Office;
- издательская система LaTex;
- интерпретатор графики MetaPost;
- Adobe Acrobat Reader.

7. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (при необходимости)

В процессе осуществления образовательного процесса по дисциплине используются:
автоматизированная библиотечно-информационная система «БУКИ-NEXT»
http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (при необходимости), рекомендуемых для освоения дисциплины

а) основная литература

1. Сивухин, Д. В. Общий курс физики. Т. II. Термодинамика и молекулярная физика. : учебное пособие : Для вузов. / Сивухин Д. В. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 544 с. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922106015.html
2. Иродов И. Е. Задачи по общей физике: Учеб. пособие для вузов. / И. Е. Иродов - 6-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2004. - 416с.

б) дополнительная литература

1. Савельев И. В. Курс общей физики: В 5 кн. Учеб. пособие для вузов.. Кн.3, Молекулярная физика и термодинамика. / И. В. Савельев - М.: Астрель, АСТ, 2004. - 208с.
2. Фриш С. Э. Курс общей физики: в 3 т. : учебник для вузов.. Т. 1, Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны. / С. Э. Фриш, А. В. Тиморева - 11-е изд., стереотип. - СПб.: Лань, 2006. - 470 с.
3. Сивухин Д. В. Общий курс физики: учеб. пособие для вузов : в 5 т.. Т. 2, Термодинамика и молекулярная физика. / Д. В. Сивухин; М-во образования РФ - 5-е изд., испр. - М.: Физматлит, 2005. - 543 с.

в) ресурсы сети «Интернет»

1. Материалы ЭУК в LMS Moodle
https://moodle.uniyar.ac.ru/course/view.php?id=17839.
2. EqWorld http://eqworld.ipmnet.ru/indexr.htm (рус.), http://eqworld.ipmnet.ru (англ.).

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине включает в свой состав специальные помещения:

- учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа и практических занятий (семинаров);
- учебные аудитории для проведения групповых и индивидуальных консультаций,
- учебные аудитории для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации;
- помещения для самостоятельной работы;
- помещения для хранения и профилактического обслуживания технических средств обучения.

Специальные помещения укомплектованы средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации.

Число посадочных мест в лекционной аудитории больше либо равно списочному составу потока, а в аудитории для практических занятий (семинаров) – списочному составу группы обучающихся.

Автор:

Профессор кафедры микроэлектроники
и общей физики, д.ф.-м.н. С.Б. Московский

Приложение №1
к рабочей программе дисциплины «Молекулярная физика»

Фонд оценочных средств
для проведения текущей и промежуточной аттестации студентов
по дисциплине

1. Контрольные задания и иные материалы, используемые в процессе текущей аттестации

Задания для самостоятельной работы

(проверка сформированности ОПК-1, идентификатор ИД-ОПК-1.2)

Задания по теме № 1 «Основы МКТ. Статистические распределения»:

1. Выяснить связь условия абсолютной упругости столкновений молекул газа с условием равновесия.
2. Провести вывод распределения Гаусса для модели стрельбы по мишени со случайным отклонением.
3. Освоить вычисление типовых интегралов, встречающихся при вычислении средних значений по распределениям Максвелла и Больцмана.
4. С помощью основной и дополнительной литературы, а также интернет-ресурсов изучить вопрос «Парадоксы классической статистики».
5. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 2 «Реальные газы»:

1. Получить значения критических параметров газа Ван-дер-Ваальса, уравнение состояния в приведенных параметрах. Сформулировать закон соответственных состояний.
2. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 3 «Первое начало термодинамики»:

1. Проанализировать все формулировки первого начала термодинамики.
2. Обосновать невозможность вечного двигателя первого рода.
3. Вывести уравнения политропы для идеального газа и газа Ван-дер-Ваальса. Проанализировать физический смысл отрицательной теплоемкости.
4. Вывести уравнение Майера.
5. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 4 «Второе начало термодинамики»:

1. Проанализировать все формулировки второго начала термодинамики. Доказать их эквивалентность.
2. Обосновать невозможность вечного двигателя второго рода.
3. Доказать первую и вторую теоремы Карно.
4. Доказать независимость термического и калорического уравнений состояния идеального газа.
5. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 5 «Фазовые равновесия и фазовые переходы»:

1. Изучить вопросы «Правило рычага» и «Свойства вещества вблизи критического состояния».

2. Провести вывод формулы Клапейрона-Клаузиуса на основе метода циклов и метода характеристических функций.
3. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 6 «Поверхностное натяжение»:
1. Изучить практическую значимость капиллярных явлений.
2. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Задания по теме № 7 «Процессы переноса в газах»:
1. Изучить связь коэффициентов диффузии, теплопроводности и вязкости в газах.
2. Выполнять домашние задания к практическим занятиям (решение по заданиям преподавателя задач из [2] списка основной литературы).

Выполнение контролируется студентами самостоятельно. Ответы к задачам приведены в сборнике задач. Ответы на вопросы содержатся в теоретическом материале, изложенном на лекциях и в учебниках из списка рекомендованной литературы.

Список вопросов к устному опросу

(проверка сформированности ОПК-1, идентификатор ИД-ОПК-1.1)

по теме № 1 «Основы МКТ. Статистические распределения»
1. Массы атомов и молекул. Гипотеза и постоянная Авогадро. Закон Авогадро.
2. Частотное определение вероятности. Сложение вероятностей взаимоисключающих событий. Умножение вероятностей для независимых событий. Нормировка вероятности.
3. Условия применимости распределения Гаусса.
4. Определение равновесного состояния. Классическое молекулярно-кинетическое определение температуры, проблемы его применимости в газах.
5. Идеально-газовая шкала температуры. Термометры.
6. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.
7. Характерные скорости распределения Максвелла. Средняя кинетическая энергия.
8. Барометрическая формула. Опыты Перрена по экспериментальному определению числа Авогадро.

по теме № 2 «Реальные газы»
9. Уравнение состояния Ван-дер-Ваальса. Изотермы Ван-дер-Ваальса.

по теме № 3 «Первое начало термодинамики»
10. Возрастание энтропии при переходе к равновесию в замкнутой системе.
11. Идеальные циклы. Работа газа. Тепло.
12. Внутренняя энергия в термодинамике. Первое начало термодинамики.
13. Теплоемкость. Молярная и удельная теплоемкости. Уравнение Майера для идеального газа.
14. Политропический процесс. Уравнение политропы в идеальном газе. Изопроцессы как частные случаи политропического процесса.
15. Цикл Карно. Тепловая и холодильная машины. Теоремы Карно.

по теме № 4 «Второе начало термодинамики»
16. Основное термодинамическое тождество. Понятие о термодинамических степенях свободы.

17. Энтропия идеального газа. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах.
18. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
19. Эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии.
20. Тепловая теорема Нернста. Третье начало термодинамики.

по теме № 5 «Фазовые равновесия и фазовые переходы»

21. Термодинамические условия равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Тройная точка.
22. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса.
23. Изотермы Ван-дер-Ваальса и сжижение газов.
24. Критическая точка.

по теме № 6 «Поверхностное натяжение»

25. Поверхностное натяжение. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.
26. Смачивание и капиллярные явления.
27. Среднее время и средняя длина свободного пробега.

по теме № 7 «Процессы переноса в газах»

28. Связь между коэффициентами, характеризующими процессы переноса.

Критерии оценивания ответов на вопросы опроса на практических занятиях

Критерий	**Пороговый уровень (на «удовлетворительно»)**	**Продвинутый уровень (на «хорошо»)**	**Высокий уровень (на «отлично»)**
Соответствие ответа вопросу	Хотя бы частичное (*не относящееся к вопросу не подлежит проверке*)	Полное	Полное
Полнота ответа	Вопрос раскрыт на 50 и более %	Ответ почти полный, без ошибок, не хватает отдельных элементов и тонкостей	Ответ полный и без ошибок

Примерные задания на контрольные работы

(проверка сформированности ОПК-1, идентификаторы: ИД-ОПК-1.1, ИД-ОПК-1.2)

Контрольная работа №1

(рассчитана на 90 минут)

1. Поршневой насос представляет собой цилиндр с поршнем. Во время выдвижения поршня объем под ним соединен с откачиваемым сосудом, при обратном ходе контакт с откачиваемым сосудом перекрывается и открывается клапан, соединяющий насос с внешней средой, при этом газ под поршнем выбрасывается наружу.
   Объем откачиваемого сосуда $V = 10$ л, максимальный объем цилиндра насоса при выдвинутом поршне $\Delta V = 0{,}25$ л. Считая процесс изотермическим, а газ идеальным, найти, во сколько раз уменьшится давление после $n = 200$ циклов работы насоса.
2. Используя распределение Максвелла, найти среднее значение величины, обратной скорости поступательного движения молекулы: $\overline{1/v}$. Масса молекулы m, абсолютная температура T.

3. Взвесь в воде шарообразных частичек вещества плотности $\rho = 0{,}9$ г/см^3 и диаметра $d = 1{,}03 \cdot 10^{-7}$ м находится в неподвижной кювете при температуре 20° С. Найти отношение концентраций частичек $n_1/n\,2$ на поверхности взвеси (n_1) и на глубине 5 мм (n_2).

Правила выставления оценки.

«Отлично» - все задачи решены верно. Допускаются незначительные неточности (ошибка в численном определении конечного или промежуточного результата при правильном аналитическом решении, отсутствие ссылки на используемый закон при правильном его математическом выражении.

«Хорошо» - две из трех задач решены верно. Допускаются незначительные неточности. Либо – все задачи решены в целом правильно, но при этом в одной из задач допущены существенные неточности (не указаны единицы измерения в конечном результате, имеются неточности в представлении промежуточных результатов.

«Удовлетворительно» - все задачи решены не полностью либо с существенными неточностями, либо верно решена только одна из задач.

«Неудовлетворительно» - все задачи решены неверно, либо решение не представлено.

Контрольная работа №2

(рассчитана на 90 минут)

1. Один моль идеального газа изобарически нагрели на $\Delta T = 72$ К, сообщив ему количество тепла $Q = 1{,}6$ кДж. Найти приращение его внутренней энергии и величину $\gamma = C_p/C_V$.
2. Идеальная холодильная машина работает по обратному циклу Карно в интервале температур от -11° С до 15° С. Найти отношение отводимого от охлаждаемого тела тепла к внешней работе: Q_2/A' (холодильный коэффициент).
3. Теплоизолированный цилиндр разделен невесомым поршнем на две одинаковые части. По одну сторону поршня находится ν молей идеального газа с показателем адиабаты γ, по другую сторону - вакуум. Поршень отпустили, и газ заполнил весь цилиндр. Затем поршень медленно переместили в начальное положение. Найти приращение внутренней энергии и энтропии в результате обоих процессов. Начальная температура газа T_0.

Правила выставления оценки.

Те же, что в контрольной работе №1.

2 Список вопросов и (или) заданий для проведения промежуточной аттестации

Итоговый тест

(проверка сформированности ОПК-1, идентификаторы: ИД-ОПК-1.1, ИД-ОПК-1.2)

20 вопросов и задач теста формируются случайной выборкой из разделов банка вопросов в LMS Moodle.

Раздел	Общее количество вопросов в банке	Количество вопросов в тесте
Идеальные газы	4	1
Статистические распределения	14	5
Реальные газы	3	1
Первое начало термодинамики	8	3

Раздел	Общее количество вопросов в банке	Количество вопросов в тесте
Второе начало термодинамики	15	5
Фазовые переходы	6	2
Поверхностное натяжение	5	1
Явления переноса	5	1
Равновесное излучение	6	1

Примеры вопросов и задач теста.

Первое начало термодинамики, вопрос №6

Возможен ли с точки зрения первого начала термодинамики обратимый процесс, в котором поглощение тепла сопровождается понижением температуры, а при выделении тепла в обратном процессе температура увеличивается?
A) невозможен
B) возможен.

Статистические распределения, вопрос №9

Распределение Больцмана является следствием условия (условий):
A) отсутствия дрейфа молекул в пространстве скоростей
B) отсутствия дрейфа молекул в пространстве координат
C) отсутствия дрейфа молекул в пространстве скоростей и в пространстве координат
D) взаимной компенсации дрейфов молекул в пространстве скоростей и в пространстве координат

Второе начало термодинамики, вопрос №8

В соответствии с теоремой Нернста теплоемкость при стремлении температуры к абсолютному нулю:
A) молярная теплоемкость C_V стремится к $3R/2$, молярная теплоемкость C_p – к $5R/2$, что соответствует калорическим свойствам одноатомного газа, так как все степени свободы, кроме поступательных, "замораживаются"
B) не изменяется
C) стремится к нулю

На прохождение теста отводится 40 минут. За правильный ответ дается 1 балл. В некоторых случаях ответ, не являющийся полностью верным, может быть правильным частично; за такие ответы дается от 0,05 до 0,2 балла. Штрафные баллы за неверные ответы не предусмотрены, за исключением вопросов с множественным вариантом ответа. Максимальный балл за тест – 20 баллов.

Правила выставления оценки за тест.

«Отлично» - 17-20 баллов.
«Хорошо» -14-16,95 баллов.
«Удовлетворительно» -8-13,95 баллов.
«Неудовлетворительно» - менее 8 баллов.

Список вопросов к экзамену

(проверка сформированности ОПК-1, идентификаторы: ИД-ОПК-1.1, ИД-ОПК-1.2)

1. Предмет молекулярной физики и термодинамики**.** Статистический и термодинамиче-

ский методы описания состояния системы. Массы атомов и молекул. Гипотеза и постоянная Авогадро. Количество вещества. Модель идеального газа. Опытные законы идеальных газов. Эмпирическая газовая абсолютная температура.

2. Случайные величины. Вероятность. Частотное определение вероятности. Сложение вероятностей взаимоисключающих событий. Умножение вероятностей для независимых событий. Нормировка вероятности. Среднее значение дискретной случайной величины. Плотность вероятности. Среднее значение непрерывно изменяющейся величины. Дисперсия.
3. Распределение Гаусса и условия его применимости. Вывод распределения Гаусса. График функции распределения Гаусса.
4. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Равновесное макроскопическое состояние системы. Средняя кинетическая энергия молекул. Классическое молекулярно-кинетическое определение температуры, проблемы его применимости в газах.
5. Температура. Способ измерения температуры. Эмпирические линейные температурные шкалы. Идеально-газовая шкала температуры. Термометры. Абсолютный нуль.
6. Функция распределения молекул газа по проекциям скорости. Вероятность и среднее количество молекул в заданном интервале проекции скорости. Средний квадрат проекции скорости. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.
7. Распределение Максвелла для модуля скорости. Вероятность и среднее количество молекул в заданном интервале модуля скорости.
8. Характерные скорости распределения Максвелла. Средняя кинетическая энергия. Теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы.
9. Число молекул в различных участках распределения Максвелла. Экспериментальная проверка распределения Максвелла.
10. Частота ударов молекул о стенку. Давление газа. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов. Молекулярно-кинетический вывод уравнения Менделеева-Клапейрона.
11. Барометрическая формула (гидродинамический вывод). Распределение атмосферных газов по высоте вблизи поверхности Земли. Опыты Перрена по экспериментальному определению числа Авогадро.
12. Принцип детального равновесия. Вывод распределения Максвелла из принципа детального равновесия.
13. Дрейф молекул идеального газа во внешнем силовом поле. Распределение Больцмана. Применение распределения Больцмана к атмосферам планет. Рассеяние атмосферы.
14. Броуновское движение. Формула Эйнштейна-Смолуховского.
15. Микросостояние системы (на примере распределения молекул газа в объеме). Вероятности микросостояний. Молекулярно-кинетическая интерпретация равновесия. Демон Максвелла.
16. Понятие о вероятности макросостояния. Энтропия как мера беспорядка в системе. Связь энтропии с вероятностью макросостояния. Возрастание энтропии при переходе к равновесию в замкнутой системе.
17. Предмет термодинамики. Равновесные и неравновесные процессы. Обратимые и необратимые процессы. Идеальные циклы. Работа газа. Тепло.
18. Внутренняя энергия в термодинамике. Первое начало термодинамики. Обобщенный закон сохранения энергии. Принцип эквивалентности тепла и работы. Механический эквивалент тепла (опыт Джоуля). Функции состояния и полные дифференциалы. Изменение внутренней энергии, тепла и работы в цикле. Невозможность вечного двигателя первого рода.
19. Теплоемкость. Молярная и удельная теплоемкости. Теплоемкость при постоянном объеме. Теплоемкость при постоянном давлении. Уравнение Майера для идеального газа.
20. Расхождение классической молекулярно-кинетической теории теплоемкости идеального газа с экспериментом. Замораживание колебательных степеней свободы (элементарная квантовая интерпретация). Качественное объяснение зависимости теплоемкости

молекулярного водорода от температуры.

21. Процессы в идеальных газах. Изобарический процесс. Изохорический процесс. Изотермический процесс. (Расчет изменения внутренней энергии, работы и количества теплоты в этих процессах.)
22. Адиабатический процесс. Уравнение адиабаты для обратимого адиабатического процесса в идеальном газе.
23. Политропический процесс. Уравнение политропы в идеальном газе. Изопроцессы как частные случаи политропического процесса. Процессы с отрицательной теплоемкостью. (Для размышления – первое начало термодинамики и теория теплорода).
24. Цикл Карно. Тепловая и холодильная машины. Коэффициент полезного действия цикла. Постулат Клаузиуса. Доказательство независимости к.п.д. цикла Карно от рабочего вещества и протяженности процессов на основе постулата Клаузиуса (первая теорема Карно).
25. Вычисление к.п.д. цикла Карно для идеального газа. Представление о разбиении произвольного обратимого цикла на совокупность бесконечно малых циклов Карно. Термодинамическое определение энтропии. Второе начало термодинамики и энтропия как функция состояния.
26. Принцип невозможности вечного двигателя второго рода (постулат Томсона – лорда Кельвина). Различные формулировки второго начала термодинамики, их эквивалентность.
27. Первая теорема Карно как следствие однозначности энтропии в заданном термодинамическом состоянии. Максимальный к.п.д. тепловой машины в заданном температурном интервале (вторая теорема Карно). Температура с точки зрения второго начала термодинамики (термодинамическая абсолютная температура).
28. Основное термодинамическое тождество. Понятие о термодинамических степенях свободы. Термодинамические производные. Дифференциальное калорическое уравнение.
29. Уравнения состояния и термодинамические степени свободы. Независимость термического и калорического уравнений состояния (на примере идеального газа).
30. Циклы Отто и Дизеля.
31. Энтропия идеального газа. Изменение энтропии в обратимых и необратимых процессах. Теплообмен. Расширение газа в пустоту. Взаимная диффузия различных и одинаковых газов. Парадокс Гиббса.
32. Возрастание энтропии в необратимых процессах, протекающих в замкнутой системе. Неравенство Клаузиуса.
33. Термодинамические потенциалы. Характеристические функции состояния. Характеристические переменные. Соотношения Максвелла для термодинамических производных.
34. Условия термодинамического равновесия и экстремумы характеристических функций состояния.
35. Реальные газы. Взаимодействие молекул на малых и больших расстояниях. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия газа Ван-дер-Ваальса.
36. Эффект Джоуля-Томсона. Температура инверсии. Нахождение температуры инверсии для газа Ван-дер-Ваальса. Принцип градуировки термометра в абсолютной термодинамической шкале.
37. Тепловая теорема Нернста. Третье начало термодинамики. Теплоемкости при температурах, близких к абсолютному нулю. Недостижимость абсолютного нуля температуры. Отрицательные абсолютные температуры.
38. Химический потенциал. Термодинамические потенциалы для систем с переменным числом частиц.
39. Термодинамические условия равновесия фаз. Фазовые диаграммы. Тройная точка. Правило фаз Гиббса.

40. Понятие о фазовых переходах первого и второго рода. Скрытая теплота перехода. Определенность знака скрытой теплоты перехода.
41. Уравнение Клапейрона-Клаузиуса. Давление насыщенного пара.
42. Изотермы Ван-дер-Ваальса и сжижение газов. Правило площадей (Максвелла). Правило рычага. Метастабильные состояния.
43. Тройные точки. Полиморфизм кристаллов. Зародыши фаз.
44. Критическая точка. Свойства вещества вблизи критического состояния. Вычисление критических параметров для газа Ван-дер-Ваальса. Закон соответственных состояний.
45. Сжижение газов и получение сверхнизких температур. Детандеры.
46. Поверхностное натяжение. Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.
47. Краевые углы. Смачивание и капиллярные явления.
48. Явление переноса в газах. Теплопроводность, диффузия, вязкое трение. Эмпирические уравнения и качественный анализ.
49. Эффективное сечение рассеяния. Среднее время и средняя длина свободного пробега. Зависимость средней длины свободного пробега от температуры (формула Сёзерленда).
50. Теплопроводность в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория теплопроводности. Коэффициент теплопроводности.
51. Диффузия в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория диффузии. Коэффициент диффузии.
52. Вязкое трение в газах. Элементарная молекулярно-кинетическая теория вязкости. Коэффициент вязкости. Связь между коэффициентами, характеризующими процессы переноса.
53. Тепловое излучение. Равновесие излучения с макроскопическими телами. Объемная плотность энергии излучения. Спектральная плотность энергии и энтропии излучения. Спектральная энергетическая светимость.
54. Отражение, пропускание и поглощение электромагнитного излучения телами. Абсолютно черное тело. Связь спектральных плотностей энергетической светимости абсолютно черного тела и удельной энергии равновесного излучения.
55. Давление равновесного излучения.
56. Закон Кирхгофа.
57. Законы Стефана-Больцмана и Вина.
58. Уравнения состояния и термодинамические функции равновесного излучения.

3. Правила выставления оценки на экзамене

В экзаменационные билет включается два теоретических вопроса. На подготовку к ответу дается не менее 1часа. При отсутствии положительной оценки («удовлетворительно» и выше) по контрольной работе №1 и/или №2 дается дополнительная задача по теме соответствующей контрольной работы. В этом случае время на подготовку увеличивается на 0,5 часа.

По итогам экзамена выставляется одна из оценок: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Оценка «Отлично» выставляется студенту, который демонстрирует глубокое и полное владение содержанием материала и понятийным аппаратом классической физики; умеет связывать теорию с практикой. Студент дает развернутые, полные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, соблюдает логическую последовательность при изложении материала.

Оценка «Хорошо» выставляется студенту, ответ которого на экзамене в целом соответствуют указанным выше критериям, но отличается меньшей обстоятельностью, глу-

биной, обоснованностью и полнотой. В ответе имеют место отдельные неточности (несущественные ошибки), которые исправляются самим студентом после дополнительных и (или) уточняющих вопросов экзаменатора.

Оценка «Удовлетворительно» выставляется студенту, который дает недостаточно полные и последовательные ответы на вопросы экзаменационного билета и дополнительные вопросы, но при этом демонстрирует умение выделить существенные и несущественные признаки и установить причинно-следственные связи. При изложении ответов допускаются ошибки в определении и раскрытии некоторых основных понятий, терминов, в формулировке положений, которые студент затрудняется исправить самостоятельно. При аргументации ответа студент не обосновывает свои суждения. На часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется студенту, который демонстрирует разрозненные, бессистемные знания; беспорядочно и неуверенно излагает материал; не умеет выделять главное и второстепенное, не умеет соединять теоретические положения с практикой, допускает грубые ошибки при определении сущности раскрываемых понятий, явлений, вследствие непонимания их существенных и несущественных признаков и связей; дает неполные ответы, логика и последовательность изложения которых имеют существенные и принципиальные нарушения, в ответах отсутствуют выводы. Дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора не приводят к коррекции ответов студента. На основную часть дополнительных вопросов студент затрудняется дать ответ или дает неверные ответы.

Оценка «Неудовлетворительно» выставляется также студенту, который взял экзаменационный билет, но отвечать отказался.

Приложение №2
к рабочей программе дисциплины «Молекулярная физика»

Методические указания для студентов по освоению дисциплины

Основной формой теоретического изложения учебного материала по дисциплине «Молекулярная физика» является лекционная форма. На практических занятиях анализируется и частично повторяется теоретический материал с элементами опроса студентов и группового обсуждения. Кроме того, на практических занятиях осуществляется самостоятельное и групповое решение задач базового уровня и уровня повышенной сложности. По каждой решенной задаче проводится групповое обсуждение результатов, выяснение их связи с фундаментальными законами физики, на которые опирается решение. В необходимых случаях анализируются предельные переходы.

Основными формами самостоятельной работы студента являются изучение конспекта лекций, основной и дополнительной литературы, интернет-ресурсов по заданиям для самостоятельной работы, решение задач (домашних заданий).

Таким образом, первая задача организации внеаудиторной самостоятельной работы студента – это составление индивидуального расписания, которое должно отражать время занятий, их характер, перерывы на обед, ужин, отдых, сон, проезд и т.д.

Рекомендации по самостоятельной работе с источниками информации. При работе с литературой и интернет ресурсами рекомендуется:

- читать учебники не подряд (параграф за параграфом), а искать информацию по интересующему вопросу, опираясь на конспект лекций, так как структура и последовательность изложения в лекционном курсе может отличаться от структуры и последовательности материала в учебнике;
- при рассмотрении каждого вопроса по возможности использовать несколько источников, поскольку при сравнении информации из разных источников достигается более глубокое понимание, выявление основных и второстепенных аспектов изучаемого вопроса;
- математические преобразования, изложенные в литературе, проделывать самостоятельно для активного овладения изучаемым вопросом.

Рекомендации по самостоятельному решению задач. Решение задачи рекомендуется начинать с анализа условий. Прежде чем приступать к преобразованиям, нужно выяснить характер явления (процесса), соответствующего условиям задачи, физические законы, которым должно подчиняться явление (процесс) в условиях задачи.

В процессе математических преобразований полезно проверять промежуточные результаты на соответствие соображениям размерности величин, входящих в формулы, это позволит выявить возможную ошибку на раннем этапе решения.

Конечный результат также нужно проверить на размерность, по возможности – на предельные переходы.

После получения конечного результата рекомендуется вернуться к анализу условий задачи и повторить его с учетом результата решения.

В ходе изучения курсы студенты получают индивидуальные задания. Выполнение контролируется студентами самостоятельно. Ответы к задачам приведены в сборнике задач. Ответы на вопросы содержатся в теоретическом материале, изложенном на лекциях и в учебниках из списка рекомендованной литературы.

Приобретённые умения и навыки решения задач проверяются в ходе двух контрольных работ.

Рекомендации по подготовке к экзамену. Основные рекомендации по подготовке к экзамену те же, что и по самостоятельной работе в семестре – опираться на конспект лекций, сравнивать изложение вопроса в нескольких источниках информации, самостоятельно проводить математические преобразования.

Рекомендуется наметить примерный график изучения материала, дневную норму с учетом количества дней на подготовку.

Желательно соблюдать распорядок дня, вынося основную нагрузку на утренние и дневные часы. Обязательно отводить время на сон, прогулки, регулярное питание.

При возникновении затруднений с каким-либо вопросом рекомендуется перейти к следующим вопросам, не тратя времени на данный. В дальнейшем можно вернуться к вопросу, вызвавшему затруднение, задать его преподавателю на консультации.

В конце подготовки целесообразно кратко просмотреть все вопросы, попытаться выделить в каждом основные положения.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

Для самостоятельной работы студентов рекомендуется использовать литературу из рекомендованного списка, электронно-библиотечные системы, подписка на которые предоставлена через ЯрГУ, список и инструкцию по использованию которых можно найти по адресу: http://www.lib.uniyar.ac.ru/content/resource/net_res(1).php и интернет-ресурсы, в том числе международный научно-образовательный сайт EqWorld**.** Сайт EqWorld содержит обширную информацию о различных классах обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ), дифференциальных уравнений с частными производными (УрЧП), интегральных уравнений, функциональных уравнений и других математических уравнений. Особое внимание уделено уравнениям математической физики и механики. Приведены таблицы точных решений, описаны методы решения уравнений, есть интересные статьи, даны ссылки на математические программы, указаны адреса научных сайтов, издательств, журналов и др. Имеется динамический раздел EqArchive, который дает возможность авторам оперативно публиковать свои уравнения и их точные решения, первые интегралы и преобразования. Содержит учебную физико-математическую библиотеку, в которую авторы могут добавлять свои книги и диссертации, а также форум для вопросов и дискуссий. EqWorld предназначен для широкого круга ученых, преподавателей вузов, инженеров, аспирантов и студентов в различных областях математики, механики, физики, химии, биологии и инженерных наук. Все ресурсы сайта являются бесплатными для его пользователей. EqWorld содержит около 2000 веб-страниц (книги библиотеки не учитываются).

Для самостоятельного подбора литературы в библиотеке ЯрГУ рекомендуется использовать следующее:

1. Личный кабинет (http://lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_login.php) дает возможность получения on-line доступа к списку выданной в автоматизированном режиме литературы, просмотра и копирования электронных версий изданий сотрудников университета (учеб. и метод. пособия, тексты лекций и т.д.) Для работы в «Личном кабинете» необходимо зайти на сайт Научной библиотеки ЯрГУ с любой точки, имеющей доступ в Internet, в пункт меню «Электронный каталог»; пройти процедуру авторизации, выбрав вкладку «Авторизация», и заполнить представленные поля информации.

2. Электронная библиотека учебных материалов ЯрГУ (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_cat_find.php) содержит более 2500 полных текстов учебных и учебно-методических материалов по основным изучаемым дисциплинам, изданных в университете. Доступ в сети университета, либо по логину/паролю.

3. Электронная картотека «Книгообеспеченность» (http://www.lib.uniyar.ac.ru/opac/bk_bookreq_find.php) раскрывает учебный фонд научной библиотеки ЯрГУ, предоставляет оперативную информацию о состоянии книгообеспеченности дисциплин основной и дополнительной литературой, а также цикла дисциплин и специальностей. Электронная картотека «Книгообеспеченность» доступна в сети университета и через Личный кабинет.