МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
общей физики
/Турищев С.Ю./
18.06.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.04 Тепломассообмен в энергетическом оборудовании

1. Код и наименование направления специальности:

14.04.02 Ядерные физика и технологии

2. Специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: магистр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра общей физики

6. Составители программы:

д.ф.-м.н., доцент Турищев Сергей Юрьевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №5 от 20.05.2025 г.

8. Учебный год: 2025/2026 **Семестр(ы):** 2

9.Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- целью изучения дисциплины является как фундаментальная, так и прикладная подготовка специалистов в области явлений переноса тепла и массы и базирующихся на них технических систем, и процессов.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение общих вопросов теории теплообмена, составляющих научную базу для анализа и расчета процессов теплообмена и специальные вопросы теплообмена, характерные для узлов ядерных энергетических установок.
- приобретение умений проводить оценку процессов тепломассообмена на основе простейших моделей; самостоятельно разбираться в методиках оценки и применять их для решения поставленной задачи;
- умение осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для оценки процессов тепломассообмена; выбирать конструкционные и функциональные материалы зон объектов, участвующих процессах тепломассообмена в зависимости от условий работы
- изучение основных законов, описывающих феноменологию, механизмы и позволяющих провести оценку явлений и процессов переноса тепла и массы, в том числе межфазного;

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной программы подготовки магистров по направлению 14.04.02 «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании».

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен к созданию теоретических и математических моделей, описывающих физику кинетических явлений или процессы в реакторах, ускорителях	ПК-3.2	Выполняет теплогидравлический расчет реакторов	Знать: физические основы процессов переноса тепла, Уметь осуществлять оценку для подготовки к расчетам теплообменников и активных зон реакторов, проводить оценку тепло-гидравлических характеристик на основе простейших моделей;
ПК-5	Способен осуществлять контроль, организацию и планирование безопасной эксплуатации тепло- и электрооборудования, трубопроводов, парогенераторов АЭС, а также	ПК-5.1	Обладает знаниями физических основ процессов переноса тепла	Знать: физические основы процессов переноса тепла, Уметь: проводить оценку тепло-гидравлических характеристик на основе простейших моделей; Владеть: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию и выбирать необходимые данные для для оценки процессов тепломассообмена.
		ПК-5.2	Осуществляет	Знать: физические основы процессов

	основных фондов реакторного отделения АЭС		расчеты теплообменников и активных зон реакторов, проводит оценку тепло-гидравлических характеристик на основе простейших моделей; использует программы расчетов тепло-гидравлических характеристик ячейки реактора и реактора в целом	переноса тепла, Уметь: самостоятельно разбираться в методиках оценки и применять их для решения поставленной задачи; Владеть: выбирать конструкционные и функциональные материалы зон объектов, участвующих процессах тепломассообмена в зависимости от условий работы.
		ПК-5.3	Осуществляет поиск и анализирует научно-техническую информацию и выбирает необходимые данные для тепло-гидравлических расчётов; выбирает конструкционные материалы активной зоны реактора в зависимости от условий работы	Знать: основные законы, описывающие феноменологию, механизм и кинетику явлений и процессов переноса тепла и массы, в том числе межфазного; Уметь: разрабатывать обобщенные вариантов решения проблемы, анализировать эти варианты, прогнозировать последствия, находить компромиссные решения в условиях многокритериальности, неопределенности; Владеть: терминологией в области реакторостроения; навыками поиска информации о тепло-гидравлических свойствах материалов активной зоны.
ПК-7	Способен оценивать риск и определять меры безопасности для ядерных установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения	ПК-7.1	Знает тепловые процессы, протекающие в устройствах для преобразования и использования энергии, элементах конструкций аппаратов и установок, которые разрабатываются, создаются и применяются в областях энергетической техники	Знать: тепловые процессы, протекающие в устройствах для преобразования и использования энергии, элементах конструкций аппаратов и установок, которые разрабатываются, создаются и применяются в областях энергетической техники; Уметь: формулировать цели решения задач, определения критериев и показателей достижения целей; Владеть: навыками применения информации о технических параметрах основных видов ядерных реакторов при проектировании ядерных реакторов.
		ПК-7.2	Владеет терминологией в области реакторостроения; навыками поиска информации о тепло-гидравлических свойствах материалов активной зоны; навыками применения	Знать: тепловые процессы, протекающие в устройствах для преобразования и использования энергии, элементах конструкций аппаратов и установок, которые разрабатываются, создаются и применяются в областях энергетической техники; Уметь: формулировать цели решения задач, определения критериев и показателей достижения целей; Владеть: навыками применения информации о технических параметрах основных видов

			информации о технических параметрах основных видов ядерных реакторов при проектировании ядерных реакторов	ядерных реакторов при проектировании ядерных реакторов.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 4/144.

Форма промежуточной аттестации - экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2 семестр
Аудиторные занятия		76	76
в том числе:	Лекции	38	38
	Практические		
	Лабораторные	38	38
Самостоятельная работа		32	32
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации		Экзамен - 36 час	Экзамен -36 час
Итого:		144	144

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
		1. Лекции
1	Введение. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.	Введение дисциплины тепломассообмен в энергетическом оборудовании. Основные понятия и явления молекулярной физики и термодинамики, использующиеся при изучении процессов тепломассообмен.
2	Процессы переноса тепла	Описание процессов переноса тепла. Законы термодинамики. Законы переноса.
3	Механизм теплопроводности	Явления теплопроводности. Учет свойств среды. Роль тепловых свойств материала.
4	Теплообмен и теплопередача	Описание процессов обмена и передачи тепла. Тепловой поток.
5	Процессы массообмена	Обмен массой. Понятие концентрации. Закон Фика. Особенности применения при изменении тепла, при переносе массы.
6	Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.	Числа подобия, их смысл и применение для оценки процессов тепломассообмена при учете физических явлений переноса тепла и массы.
7	Особенности учета процессов тепломассообмена в энергетическом оборудовании.	Энергетическое оборудование, способы оценки влияния процессов передачи тепла и массы га особенности функционирования и эксплуатации.
		2. Лабораторные
2.1	Процессы переноса тепла	Классификация теплообменных аппаратов. Проведение испытаний теплообменников в режимах прямотока и противотока для теплообменников различных типов: пластинчатого, кожухотрубного и типа труба в трубе.

2.2	Механизм теплопроводности	Измерение температуры на входе и выходе исследуемого теплообменника в горячем и холодном контурах. Измерение расхода теплоносителей. Тепловизор. Принцип работы.
2.3	Теплообмен и теплопередача	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД пластинчатого теплообменника.
2.4	Процессы массообмена	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД теплообменника типа труба в трубе.
2.5	Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.	Коэффициент полезного действия теплообменника. КПД кожухотрубного теплообменника.

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)				
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Введение. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.	4	0	4	5	13
2	Процессы переноса тепла	4	10	6	5	25
3	Механизм теплопроводности	4	8	4	5	21
4	Теплообмен и теплопередача	6	8	4	5	23
5	Процессы массообмена	6	8	6	5	25
6	Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.	6	4	4	5	19
7	Особенности учета процессов тепломассообмена в энергетическом оборудовании.	8	0	4	6	18
	Итого:	38	38	32	36	144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами. На практических занятиях необходимо уметь решать задачи и анализировать решение, на устных опросах обучаемый должен уметь демонстрировать полученные на лекциях и практических занятиях знания, умения и навыки, отвечать на поставленные вопросы, поддерживать дискуссию по существу вопроса

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины *(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)*

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках. – М., Энергоатомиздат, Учебное пособие для вузов. 2000. – 456 с. (https://lib.vsu.ru/zgate?present+13431+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus).
2	Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен. – М., Изд-во МЭИ. Учебное пособие для вузов. 2005. – 548 с. (https://lib.vsu.ru/zgate?present+13431+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus).
3	Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Теплообмен в ядерных энергетических установках. Учебное пособие для вузов. М.: Изд-во МЭИ, 2003. - 548с. (https://lib.vsu.ru/zgate?present+13431+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus).
4	Ядерная энергетика : учебное пособие для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников / [Н.А. Азаренков и др.] ; Харьковский нац. ун-т им. В. Н. Каразина .— Харьков : Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, 2012 .— 479с. (https://lib.vsu.ru/zgate?present+13537+default+4+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus).
5	Ишханов Б. С. Частицы и атомные ядра : учебник по дисциплине "Физика атом. ядра" для студ. вузов, обуч. по специальностям 010701 - "Физика", 010705 - "Физика атом. ядра и частиц" и направлению 010700 - "Физика" / Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н.П. Юдин ; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова .— Изд. 2-е, испр. и доп. — М. : URSS : Изд-во ЛКИ, 2007 .— 581 с. (https://lib.vsu.ru/zgate?present+13537+default+1+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus)

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Дорощук В.Е. Кризисы теплообмена при кипении воды в трубах. - М.: Энергоатомиздат, l983. - 120с.
7	Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. - М.: Наука, 1982. - 472с.
8	Зигель Р., Хауэлл Дж. Теплообмен излучением. - М.: Мир, 1975. - 934с.
9	Исаченко В.П. Теплообмен при конденсации. - М.: Энергия, 1977. - 240с.
10	Кириллов П.Л. Свойства материалов ядерной техники, Изд-во ИАТЭ, 1990.
11	Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). - 2-е издание, переработанное и дополненное, - М.: Энергоатомиздат, 1990 г., - 360 с.
12	Крамеров А.Я., Шевелев Я.В, Инженерные расчеты ядерных реакторов. - 2-ое изд. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 736с.
13	Лыков А.В. Теория теплопроводности: Учебное пособие для вузов. - М.; Высшая школа, l967. - 599с.
14	Галин Н. М. Тепломассообмен (в ядерной энергетике) / Н.М. Галин, П.Л. Кириллов .— М. : Энергоатомиздат, 1987 .— 374,[2] с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
15	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ.
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

(учебно-методические рекомендации, пособия, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Лыков А. В. Тепломассообмен : справочник / А.В. Лыков .— М. : Энергия, 1971 .— 560 с.
2	Бабенко Ю.И. Тепломассообмен : Метод. расчета тепловых и диффузионных потоков / Ю. И. Бабенко .— Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1986 .— 143,[1] с.
3	Цветков Ф. Ф. Задачник по тепломассообмену : Учеб. пособие для теплоэнергет. спец. вузов / Ф. Ф. Цветков, Р. В. Керимов, В. И. Величко .— М. : Изд-во МЭИ, 1997 .— 135,[1] с
4	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.04.02. Ядерные физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

− активные и интерактивные формы проведения занятий;

− компьютерные технологии при проведении занятий:

− презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;

− специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;

− разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, ауд. 103	Специализированная мебель, ноутбук, проектор,Microsoft Windows 7. LibreOffice Adobe Reader
Лаборатория (для проведения лабораторных занятий, текущего контроля и промежуточной аттестации) г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, ауд. 135	Лабораторный учебный стенд "Определение коэффициента теплопередачи теплообменного аппарата" ЭЛБ-171.012.03

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Темы 1-7	ПК-3	ПК-3.2	Собеседование
2.	Темы 1-7	ПК-5	ПК-5.1; ПК-5.2; ПК-5.3	Собеседование
3	Темы 1-7	ПК-7	ПК-7.1; ПК-7.2	Собеседование
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: контрольные работы.

Контрольная работа 1 по вопросам:

1. Основные понятия молекулярной физики и термодинамики.

2. Процессы переноса тепла
3. Механизм теплопроводности

Контрольная работа 2 по вопросам:

1. Теплообмен и теплопередача
2. Процессы массообмена
3. Числа подобия для использования в оценке процессов тепломассообмена.

Критерии оценки:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он верно ответил на все вопросы, указав и пояснив свои ответы с помощью соответствующих законов и зависимостей.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он верно ответил на все вопросы, но допустил неточности, либо если он верно ответил на два вопроса.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он верно ответил на все вопросы, но допустил весомые неточности, либо если он верно ответил на один вопрос.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту в случае, если ни на один вопрос не дано верного ответа.

20.2 Промежуточная аттестация

Пример контрольно-измерительного материала (КИМ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой общей физики

_____ (Турищев С.Ю.)

Направление подготовки: 14.04.02 Ядерные физика и технологии

Дисциплина: Б1.В.04 Тепломассообмен в энергетическом оборудовании

Форма обучения: очная

Вид контроля: экзамен

Вид аттестации: промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Физические процессы при конденсации.
2. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Критерии Рейнольдса, Нуссельта, Пекле, Прандтля.

Составитель _____ Турищев С.Ю.

подпись *расшифровка подписи*

Перечень вопросов к экзамену:

1. Процессы переноса тепла: теплопроводность, конвекция (вынужденная, свободная).
2. Излучение и его свойства.
3. Физические основы передачи тепла в различных средах.
4. Теплообмен при кипении. Виды кипения.
5. Физические процессы при конденсации.
6. Температурное поле.
7. Плотность теплового потока.
8. Коэффициенты теплопроводности, температуропроводности.
9. Уравнение теплопроводности. Стационарные и нестационарные процессы.
10. Конвективный тепломассообмен в однофазных средах. Вынужденная и свободная конвекция.
11. Теплообмен и теплопередача. Закон Ньютона.
12. Коэффициент теплообмена, его физический смысл. Коэффициент теплопередачи.
13. Процессы массообмена. Закон Фика. Коэффициент массообмена. Аналогия между процессами переноса тепла и массы.
14. Нестационарные поля температуры в телах простой формы (пластина, цилиндр, шар). Дифференциальное уравнение. Граничные условия.
15. Вынужденное течение в каналах. Режимы: ламинарный, вязкостный, переходный, турбулентный.
13. Теория размерностей и числа (критерии) подобия. Критерии Рейнольдса, Нуссельта, Пекле, Прандтля.
14. Процессы теплопроводности. Критерий Био, его физический смысл.
15. Энергетическое оборудование и тепломассообмен.
16. Способы оценки влияния процессов передачи тепла на особенности функционирования и эксплуатации.
17. Способы оценки влияния процессов передачи массы на особенности функционирования и эксплуатации.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» осуществляется по следующим показателям:

- качество ответов при опросе на занятиях;
- выполнение практических работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании»:

– Оценка «отлично» выставляется студенту, если он верно ответил на все вопросы, дополнив и пояснив ответ с помощью соответствующих законов и зависимостей;

– Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он верно ответил на все вопросы, но допустил неточности, либо если он верно ответил на все вопросы, дополнив и пояснив только один из ответов с помощью соответствующих законов и зависимостей;

– Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он ответил на все вопросы, дополнив и пояснив ответ с помощью соответствующих законов и зависимостей, но не пояснил ответ, либо же если он верно ответил на один из вопросов дополнив и пояснив ответ с помощью соответствующих законов и зависимостей;

– Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту в случае, если студент не ответил ни на один вопрос.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Тепломассообмен в энергетическом оборудовании» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если обучающийся не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Фонд оценочных средств

1) тестовые задания (**жирным шрифтом** выделен правильный ответ):

1. Найти энергию теплового движения молекул кислорода, имеющего массу m=1кг при температуре Т=400 К.
Ответ: а) U=2,6 Дж; б) U =26□10^5 Дж; в) U =3,6□10^5 Дж; **г) U=2,6□10^5 Дж.**

2. При какой температуре средняя квадратичная скорость молекул кислорода будет равна 450 м/с?
Ответ: а) T=360 К; **б) T=260 К**; в) T=410 К; г) T=310 К;

3. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода и кислорода. Во сколько раз давление, производимое водородом на стенки баллона, будет больше, чем давление кислорода, если молярная масса кислорода 32 кг/кмоль, а водорода 2 кг/кмоль?
Ответ: а) 5; **б) 16**; в) 10 г) 8;

4. Как изменится средняя кинетическая энергия теплового движения молекул идеального газа при увеличении абсолютной температуры в 2 раза?
Ответ: а) увеличится в 5 раз; **б) увеличится в 2 раза**; в) не изменится

5. Какова средняя квадратичная скорость атомов гелия в атмосфере Солнца? Температура поверхности Солнца 6000 °С. Гелий – атомарный, M = 4 г/моль.
Ответ: **а) 6250 м/с;** б) 1600 м/с; в) 4500м/с

6. Газ изотермически расширили так, что его давление уменьшилось в 4 раза. Во сколько раз и как изменился его объем?
Ответ: а) увеличится в 5 раз; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; **г) увеличится в 4 раза**

7. Во сколько раз изменится давление разреженного одноатомного газа, если при увеличении концентрации молекул газа в 3 раза его абсолютная температура увеличится в 2 раза?
Ответ: а) увеличится в 5 раз; б) увеличится в 2 раза; в) не изменится; **г) увеличится в 6 раз**

8. Концентрацию молекул одноатомного идеального газа уменьшили в 5 раз. Одновременно в 2 раза увеличили среднюю энергию хаотичного движения молекул газа. Чему равно отношение конечного давления к начальному?
Ответ: а) 5 ; б) 1; **в) 0,4;** г) 4

9. В сосуде находится 1 моль некоторого газа. Известно, что отношение давления газа к его температуре равно 371 Па/К. Чему равен объем газа?
Ответ: **а) 22 л** ; б) 1 л; в) 0,4 л; г) 4 л

10. При нагревании газа его внутренняя энергия увеличилась от 300 до 700 Дж. Какая работа была совершена газом, если на его нагревание было затрачено 1000 Дж теплоты?
Ответ: а) 200 б)300 в)500 **г) 600**

11. Если в некотором процессе газу сообщено 900 Дж теплоты, а газ при этом совершил работу 500 Дж, то внутренняя энергия газа:
1) увеличилась на 1400 Дж.
2) уменьшилась на 400 Дж.
3) увеличилась на 400 Дж.

4) уменьшилась на 500 Дж.

12. В изотермическом процессе газ получил 300 Дж теплоты. Какую работу совершил газ?
Ответ: **а) 300 Дж**; б) 0 ; в) 150 Дж

13. В калориметре смешали 2 кг воды при температуре 50 °С и 3 кг воды при температуре 30 °С. Найдите температуру (в °С) смеси.
а) 35 б) 36 в) 37 **г) 38**

14. При отвердевании 100 кг стали при температуре плавления, выделилось 21 МДж теплоты. Какова удельная теплота плавления (в кДж/кг) стали?
а) 180 **б) 210** в) 300

15. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, за цикл получает от нагревателя количество теплоты Q_1=2,512 кДж. Температура нагревателя T_1=400 К, температура холодильника T_2=300 К. Найти работу А, совершаемую машиной за один цикл.
Ответ: **а) А=630** Дж; б) А=640 Дж; в) А=650 Дж; г) А=660;

2) задачи:

1. Кислород, масса которого 10 г, находится при давлении 300 кПа и температуре 10 °С. После нагревания при p=const газ занял объем V=10 л. Найти количество теплоты *Q*, полученное газом.
Ответ: *Q*=7,92 кДж **2 балла**

2. До какой температуры охладится воздух, находящийся при температуре t_1=0 °С, если он расширяется адиабатически от объема V_1 до V_2=2V_1? Показатель адиабаты для воздуха γ=1,4.
Решение: Уравнение адиабаты

$$V_1^{\gamma-1} \cdot T_1 = V_2^{\gamma-1} \cdot T_2$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{2^{\gamma-1}} = \frac{T_1}{2^{0,4}}$$

$$T_2 = 207\ \text{К}$$

Ответ: T_2=207 К **5 баллов**

3. Для нагревания воды, взятой при температуре 20 °С, и обращения ее в пар израсходовано 2596 кДж энергии. Определите массу воды. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг.К), удельная теплота парообразования воды 2,26 МДж/кг.
Ответ:1 кг **2 балла**

4. В цилиндре под поршнем находится некоторая масса газа при температуре 300 К, занимающая при давлении 0,1 МПа объем 6 л. На сколько градусов надо охладить газ при неизменном давлении, чтобы при этом была совершена работа 50 Дж по его сжатию?
Ответ: 25 К **2 балла**

5. В одинаковых баллонах при одинаковой температуре находятся равные массы водорода и кислорода. Во сколько раз давление, производимое водородом на стенки баллона, будет больше, чем давление кислорода, если молярная масса кислорода 32 кг/кмоль, а водорода 2 кг/кмоль?
Ответ: 16 **2 балла**

6.Один моль некоторого идеального газа изобарически нагрели на ΔT=72 К, сообщив ему количество тепла Q = 1,60 кДж. Найти приращение его внутренней энергии. Решение:

$$Q = \Delta U + A$$
$$\Delta U = Q - A$$
$$A = p\Delta V = \nu R\Delta T$$
$$\Delta U = Q - 1R\Delta T = 1{,}0 \text{ кДж}$$

Ответ: ΔU=Q-RΔT=1,00 кДж. **5 баллов**

7. Найти среднюю квадратичную $<v_{кв}>$ скорость молекул водорода. Вычисления выполнить для температуры Т=5000 К, при которой около 95% молекул водорода диссоциированы на атомы.
Ответ: $<v_{кв}>$=7900 м/с. **2 балла**

8. Какова должна быть степень сжатия воздуха V_1/V_2 , чтобы его температура возросла с 15°С до 700 °С? Сжатие считать адиабатным. Показатель адиабаты для воздуха γ=1,4.
Ответ: V_1/V_2=21; **5 баллов**

9. При изотермическом расширении водорода массой 1 г объем газа увеличился в 2 раза. Определить работу расширения, совершенную газом, если температура газа 15 °С. Молярная масса водорода
М=$2\cdot10^{-3}$кг/моль.
Ответ: А=829 Дж; **5 баллов**

10. Тепловая машина, работающая по циклу Карно, за цикл получает от нагревателя количество теплоты Q_1=2,512 кДж. Температура нагревателя T_1=400 К, темпратура холодильника T_2=300 К. Найти работу А, совершаемую машиной за один цикл.
Ответ: А=630 Дж; **2 балла**