МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Г.Д.БУХАРОВА

ДИДАКТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ УМЕНИЮ РЕШАТЬ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ (НА ПРИМЕРЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕРМОДИНАМИКИ)

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ПРОФЕССИОНАЛЬНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ВУЗОВ

ЕКАТЕРИНБУРГ 1994

Дидактические условия обучения студентов умению решать задачи по физике (на примере молекулярной физики и термодинамики): Метод. пособие для студентов профессионально-педагогических вузов. - Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. проф.-пед. ун-та, 1994. 82 с.

Составитель Бухарова Галина Дмитриевна

Рецензенты: д-р пед. наук, проф. Н.Н.Тулькибаева
(Челябинский пединститут),
канд. пед. наук, доц. Ф.Т.Хаматнуров
(Уральский государственный профессионально-педагогический университет)

В пособии рассмотрены вопросы методики решения физических задач и обучения студентов их решению. Приведены краткий теоретический материал по молекулярной физике и термодинамике и подробное решение 23 задач этого раздела курса общей физики.

Окажет помощь преподавателям при подготовке и проведении практических занятий и студентам в выполнении самостоятельной работы при изучении физики.

Пособие целесообразно использовать в учебном процессе по физике ВПТУ.

© Издательство Уральского государственного профессионально-педагогического университета, 1994

В В Е Д Е Н И Е

Решение задач занимает в естественнонаучном образовании инженеров-педагогов существенное место и играет огромную роль в их технической и инженерной подготовке.

На сегодняшний день уделяется много внимания обучению решения задач учащихся средней школы и ПТУ, но недостаточное освещение получает эта актуальная проблема в практике высших учебных заведений. Все пособия для студентов вузов по решению задач построены в виде сборников задач с ответами и некоторыми указаниями к решению задач. При таком подходе нарушается преемственность в формировании и дальнейшем развитии у студентов обобщенной структуры деятельности по решению задач.

Возникает необходимость разработки таких рекомендаций и пособий, которые помогли бы преодолеть указанные трудности и дали бы возможность сформировать у студентов общую структуру деятельности при решении задач. Умение решать задачи является показателем сформированности знаний.

В психологической, педагогической и методической литературе широко обсуждаются всевозможные аспекты использования задач в процессе обучения и методика их решения.

Психологи выделяют различные подходы к определению понятия "задача", исследуют процесс решения задач как основной вид деятельности, при котором происходит развитие мышления, рассматривают решение задач как умственное действие, направленное на установление зависимости уровня применения знаний от особенностей его усвоения обучаемыми.

В общей и частных дидактиках задачи рассматриваются как метод, средство и способ обучения. Объектом нашего исследования является процесс обучения студентов инженерно-педагогического вуза умению решать задачи по физике, а предметом выступает система дидактических условий, позволяющая обеспечить полноценный результат этого процесса.

СУЩНОСТЬ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ

Проблема метода обсуждалась еще в античной философии при анализе взаимосвязи результата и пути познания действительности. В современной философской литературе "метод" (путь исследования или познания, теория, учение), способ построения и обоснования системы философского знания ; совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности" (I6, с. 364).

В толковом словаре Н.И.Кондакова метод рассматривается как "... путь, способ достижения цели, прием теоретического исследования или практического осуществления чего-нибудь, исходящий из знания наиболее общих закономерностей развития объективной действительности и специфических закономерностей исследуемого предмета, явления, процесса" (8, с. 301).

В дидактическом понимании "методы обучения - это способы взаимосвязанной деятельности учителя и обучаемых, направленные на достижение образовательных целей" (9, с. 24).

Рассмотрим подробнее вопрос о выделении методов обучения в педагогической и дидактической литературе (табл. I).

Таблица I

Обзор состояния проблемы выделения методов обучения в педагогической и дидактической литературе

Авторы	Год издания	Основание выделения методов	Содержание выполненной работы
I	2	3	4
Данилов М.А. (5)	1956	Главное в методе - логическая основа обучения	Определил метод как "применяемый учителем логический способ, посредством которого учащиеся сознательно усваивают знания и овладевают умениями и навыками"

Продолжение табл. I

I	2	3	4
Верзилин М.Н. (2)	I957	Исходный критерий - логический путь передачи знаний учащимся	Наметил систему методов, каждый из которых включает в себя индуктивный и дедуктивный пути: словесно-индуктивный и словесно-дедуктивный, наглядно-индуктивный и наглядно-дедуктивный, практически-индуктивный и практическй-дедуктивный
Голант Е.Я. (3)	I957	Основание выделения методов - действие в обучении ученика	Выделил активные методы (лабораторный, работа с книгой) и пассивные (рассказ, лекция, объяснение, демонстрация, экскурсия)
Огородников И.Т. (I2)	I969	Разделение методов по источникам передачи и приобретения знаний	Предложил словесные и практические методы
Скаткин М.Н. (6)	I975	Основание выделения методов - характер познавательной деятельности учащихся	Обосновал методы: объяснительно-иллюстративный, репродуктивный, эвристический или частично-поисковый, исследовательский
Махмутов М.И. (II)	I975	Основание классификации - уровень проблемности усвоения знаний и уровень эффективности обучения	Выделил методы преподавания: информационно-сообщающий, объяснительный, инструктивно-практический, объяснительно-побуждающий и побуждающий ; и методы

Окончание табл. I

I	2	3	4
			учения: исполнительский, репродуктивный, продуктивно-практический, частично-поисковый и поисковый
Лернер И.Я. (I0)	I98I	Критерий выделения - специфика и функции содержания образования	Предложил общедидактическую систему методов: информационно-рецептивный, репродуктивный, проблемного изложения, эвристический, исследовательский
Щукина Г.И. (I4)	I980	Выделение критерия оценки педагогического решения проблемы методов обучения	Выделила условно аспекты методов: гносеологический, логико-содержательный, психологический и педагогический
Ильина Т.А. (I5)	I984	Деление методов по дидактическим целям и используемым средствам	Рассмотрела последовательность методов для сообщения новых знаний; для приобретения знаний и выработки умений и навыков; работы с ТСО
Онищук В.А. (I3)	I987	Основание классификации - дидактические цели и виды деятельности учителя и учащихся	Обосновал коммуникативний, познавательный, преобразовательный, систематизирующий и контрольный методы
Бабанский Ю.К. (I)	I989	Основание выделение методов - целостный подход к деятельности	Выделил три группы методов: организации и осуществления, стимулирования и мотивации, контроля и самоконтроля

Анализ таблицы показывает, что проблема методов обучения относится к числу сложных проблем, которые не поддаются быстрому и окончательному решению, о чем свидетельствуют различные точки зрения на основания выделения методов обучения, их классификацию, место и роль в учебно-познавательном процессе. Наиболее полную классификацию методов обучения предложил Ю.К.Бабанский. В педагогической литературе достаточно полно представлена номенклатура методов обучения. Большинством авторов выделены такие методы, как рассказ, объяснение, лекция, беседа, работа с учебником и книгой, лабораторные, письменные и практические и графические работы, экскурсии. Ряд педагогов и дидактов (М.А.Данилов, Л.В.Занков, Б.П.Есипов, Т.А.Ильина, А.Г.Ковалев, Р.Г.Лемберг, И.Т.Огородников, Г.И.Щукина) относит решение задач и упражнения к методам обучения. В арсенале перечисленных методов можно увидеть нерядоположенные методы, например, практические и лабораторные работы и решение задач. Такой подход следует считать недостаточно правомерным.

Метод обучения в его дидактическом понимании реализуется в виде приемов, способов и средств в процессе обучения. В методической литературе задачи рассматривают как средство обучения, способ реализации методов обучения, при этом выделяются функции задач, приводится их классификация, разрабатывается эффективная методика обучения их решению.

Анализируя понятие "задача" в общей и частных дидактиках, следует иметь в виду учебную задачу. Учебная задача отличается по своей структуре и функциональному назначению от понятия "задача". Учебная задача является элементом учебной деятельности. В.В.Давыдов отмечает, что учебная задача требует определенных способов умственной деятельности, ориентированных на овладение наиболее общими отношениями предметной действительности (4). Учебная задача предполагает открытие и освоение общих способов решения относительно широкого круга проблем научной и практической области.

В частных методиках оперируют различными определениями учебной задачи. Математики определяют задачу "... как требование или вопрос, на который надо найти ответ, опираясь и учитывая условия, которые указаны в задаче" (17, с. 6).

В методике преподавания физики "физической задачей в учебной практике обычно называют проблему, которая в общем случае реша-

ется с помощью логических умозаключений, математических действий и эксперимента на основе законов и методов физики"(7, с. 5).

СТРУКТУРА УЧЕБНОЙ ЗАДАЧИ

В структуре задачи можно выделить условие (утверждение) и требование (вопрос) или данные и искомые величины. Приступая к решению задачи, следует внимательно изучить содержание, выделить условие и требование задачи. Получив задачу, мы ее внимательно читаем.

Задача I. Баллон объемом V = I2 л наполнен азотом при давлении p = 8,0 МПа и температуре t = I7°С. Какая масса азота находится в баллоне?

В содержании этой задачи имеется утверждение и вопрос. Прочитав ее, выделим данные и искомые величины. Затем выполним кодирование задачи (схематическая запись).

Дано:	Анализ содержания задачи
Газ - азот V = I2 л p = 8,0 МПа t = I7°С m - ?	Предметом задачи является газ в баллоне - азот при определенных условиях: p, V и t - данные величины. Масса газа m, которую необходимо найти, - искомая величина. Достаточно часто в задаче содержится не одно условие и требование, а несколько независимых утверждений и вопросов.

Процесс решения задачи можно осуществить определенными методами и способами. Под методом решения задачи следует понимать определенный подход к процессу ее решения. При решении задач проявляются основные закономерности мыслительной деятельности человека, одновременно идет усвоение и применение знаний. Мышление в этом случае представляет собой единую, и вместе с тем, многообразную по своим формам деятельность, которая протекает в различных операциях и процессах. К ведущим из них относятся анализ и синтез. Анализ представляет собой мысленное расчленение предмета, явления на составляющие его части и выделение существенных признаков, свойств, элементов. Синтез, вскрывая существенные связи и отношения между элементами, способствует восстановлению целого, расчлененного анализом. При выполнении определенных действий можно говорить только о превалировании той или иной мыслительной операции, так как разграничивать их не представляется возможным. Они существуют в единстве,

определенной взаимосвязи, и в процессе решения задачи проявляется целостная аналитико-синтетическая деятельность. Это дает основание выделить методы решения учебных задач: аналитический, синтетический и аналитико-синтетический.

Способ решения задачи – это система действий и средств для реализации того или иного метода решения задачи. Среди многообразия способов можно выделить основные: логический, математический и экспериментальный. В свою очередь каждый из них включает в себя несколько разновидностей, например, в математическом способе решения задачи целесообразно выделить арифметический, алгебраический, геометрический и графический.

Обратимся к содержанию и краткой записи условия и требования задачи. Для осуществления ее решения необходимо перевести единицы измерения данных физических величин в одну систему СИ.

Дано:	СИ
Газ – азот	
$V = 12$ л	$1{,}2 \cdot 10^{-2}$ м^3
$p = 8{,}0$ МПа	$8{,}0 \cdot 10^{6}$ Па
$t = 17^0$С	$T = 290$ К
$R = 8{,}31$Дж/(моль·К)	
$M = 2{,}8 \cdot 10^{-2}$кг/моль	
m – ?	

После чего проанализируем содержание задачи с позиции выделения описанного в ней физического явления или процесса и запишем основной закон или уравнение, позволяющее приступить к решению задачи.

Чтобы найти массу газа азота m, находящегося в баллоне, запишем уравнение Менделеева–Клапейрона, в которое входит искомая физическая величина. Способ решения задачи – алгебраический.

Уравнение Менделеева–Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad (1)$$ Отсюда $$m = \frac{MpV}{RT} \quad (2)$$

Проверим наименование искомой величины

$$[m] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Па} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}}{\text{моль} \cdot \text{Дж} \cdot \text{К}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{Дж}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{Дж}} = \text{кг}.$$

Произведем расчет искомой величины

$$m = \frac{2{,}8 \cdot 10^{-2} \; 8{,}0 \cdot 10^{6} \; 1{,}2 \cdot 10^{-2}}{8{,}31 \cdot 290} = 1{,}2 \text{ кг}.$$

Оценим реальность полученного ответа: может ли при данных условиях в баллоне содержаться полученная при решении масса азота? Рассуждения приводят к правильности полученного ответа.

ЭТАПЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

Детальное рассмотрение выполненного анализа приведенной выше задачи приводит к выделению в процессе ее решения основных этапов. Весь процесс решения этой задачи можно разбить на одиннадцать этапов. К их числу относятся следующие:

I этап – чтение задачи, выделение предмета задачи, данных и искомых величин;

II этап – кодирование содержания задачи (краткая запись);

III этап – перевод единиц измерения в одну систему СИ;

IУ этап – выявление физической сущности, описанной в содержании задачи;

У этап – поиск способа решения;

УI этап – запись основных формул или уравнений, необходимых для решения задачи;

УII этап – полученные в общем виде выражения для нахождения искомой величины;

УIII этап – проверка наименования искомой величины;

IX этап – вычисление искомой величины;

X этап – анализ реальности полученного результата;

XI этап – запись ответа.

Приведенные этапы решения задачи свидетельствуют о том, что процесс этот является сложным и многоплановым.

Обобщим выделенные этапы решения задачи в основные действия. Первый и второй этапы относятся к ознакомлению с содержанием задачи. Третий, четвертый и пятый – к поиску решения (планирование). Шестой, седьмой, восьмой и девятый – к осуществлению решения. Десятый и одиннадцатый – к анализу полученного результата (контроль).

Приведем в качестве примера задачу и ее решение, выделяя каждый из этапов.

Задача 2. В баллоне находилась масса m_1 = 10 кг газа при давлении p_1 = 10 МПа. Какую массу газа Δm взяли из баллона, если давление стало равным p_2 = 2,5 МПа. Температуру газа считать постоянной.

I. Ознакомление с задачей

Предметом задачи является газ некоторой массы m_1 в баллоне при определенных условиях (p_1 , V , T). Затем из баллона

берут некоторую массу газа Δm. Для газа, оставшегося в баллоне, условия изменились (p_2 , V , T).

II. Кодирование содержания задачи

Дано:	СИ	III. Перевод единиц измерения в одну систему СИ
Газ		
m = 10 кг		
p_1 = 10 МПа	10^7 Па	
p_2 = 2,5 МПа	$2{,}5 \cdot 10^6$ Па	
T - const		
Δm - ?		

IV. Выявление физической сущности, описанной в содержании задачи

По условию задачи происходит изменение состояния газа в баллоне. При этом изменяются его параметры: масса и давление. Состояние газа в двух случаях можно описать уравнением Менделеева-Клапейрона.

V. Поиск способа решения

Масса газа, взятого из баллона, равна

$\Delta m = m_1 - m_2$, (1) где m_1 - первоначальная масса газа; m_2 - конечная масса газа.

Для нахождения оставшейся массы газа необходимо записать уравнение состояния газа в двух сотояниях. Таким образом, наметили план решения задачи. Способ решения - алгебраический.

VI. Запись основных формул и уравнений

Для первого состояния газа: $p_1 V = \frac{m_1}{M} RT$, (2)

для второго состояния: $p_2 V = \frac{m_2}{M} RT$. (3)

VII. Осуществление решения задачи

Решая совместно уравнения (2) и (3), получим

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_2}$. (4) С учетом выражения (1) имеем

$\frac{p_1}{p_2} = \frac{m_1}{m_1 - \Delta m}$, (5) $\Delta m = \frac{m_1 (p_1 - p_2)}{p_1}$. (6)

VIII. Проверка наименования искомой величины

$$[\Delta m] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Па}}{\text{Па}} = \text{кг}.$$

IX. Вычисление искомой величины

$$\Delta m = \frac{10 \cdot (10^7 - 2{,}5 \cdot 10^6)}{10^7} = 7{,}5 \text{ кг.}$$

X. Анализ результата в данной задаче можно опустить.

XI. Запись ответа

Ответ: из баллона взята масса газа $\Delta m = 7{,}5$ кг.

Следовательно, в структуре процесса решения задач можно выделить следующие действия:

1. Ознакомление с задачей (ориентирование).

2. Выявление физической сущности и способа решения (планирование).

3. Осуществление решения задачи.

4. Анализ полученного результата (контроль).

Выделенные действия являются общими в процессе решения задач естественнонаучного цикла дисциплин.

КЛАССИФИКАЦИЯ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ

Учебные задачи по физике можно классифицировать по различным основаниям: по содержанию и способу его задания, по характеру требования, по способу решения, по целевому назначению, по степени сложности.

По способу задания содержания различают задачи текстовые, графические, экспериментальные и задачи-рисунки.

По содержанию задачи могут быть абстрактные и конкретные. Конкретные задачи - это задачи с различным содержанием (политехническим, производственно-техническим, краеведческим, историческим, межпредметным), практические, бытовые и занимательные.

По характеру требования следует различать задачи на нахождение искомого, конструирование и доказательство.

По способу решения различают качественные (логические), количественные (вычислительные), графические и экспериментальные задачи.

По степени сложности задачи могут быть простые и сложные.

Если в процессе изучения курса физики в каждом из его разделов в полном объеме будут представлены все виды задач, то получится система задач. Выделенная система учебных задач будет являться предметом познания, а целью обучения становится познание этой системы.

В нашем случае будем иметь дидактическую систему задач, которую определим как некоторую совокупность задач, находящихся во взаимосвязи друг с другом и выполняющих определенные дидактические функции в процессе обучения. В содержании этой системы можно выделить несколько основных аспектов и связанных с ними функций. Такими функциями являются следующие: обучающая, развивающая, воспитывающая и управляющая.

Обучающая функция задач состоит в том, что в содержании учебной задачи и процессе ее решения представлены новые для студента знания. Развивающая функция задач заключается в развитии мышления, находящегося в неразрывной связи с процессом формирования понятий. Например, анализ содержания и решение задач с производственно-техническим содержанием становится не только источником знаний о технике и технологии производства, но и способствует формированию технических и политехнических понятий. Овладение системой таких понятий имеет принципиально важное значение для развития технического мышления. Информация, содержащаяся в задачах, и процесс осуществления их решения носят не только познавательный, но и воспитывающий характер. Управляющая функция заключается в том, что система задач является целенаправленной; создание и использование дидактической системы задач в учебном процессе подчинено достижению определенных целей.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ДИДАКТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УЧЕБНЫХ ЗАДАЧ

Формирование умения решать физические задачи, то есть овладение структурой деятельности при решении задач, представляет один из аспектов сформированности знаний в области физики.

В основу построения дидактической системы задач положены системные принципы: целостность, структурность, взаимосвязь, взаимозависимость, иерархичность, многоуровневость. Проследим, как преломляются эти системные принципы в дидактической системе задач по физике.

Целостность является обобщенной характеристикой сложных по своему содержанию и структуре объектов. В нашем случае объектом выступает физическая задача, которая, в свою очередь, является подсистемой системы задач. Целостность выражается в несводимости свойств системы задач к механической сумме свойств отдельных задач.

Структурность предполагает, что между задачами, образующими систему, существуют определенные связи и отношения. В системе задач представлены различные типы и виды задач из рассмотренной ранее классификации задач.

Входящие в дидактическую систему задачи взаимосвязаны, взаимообусловлены и взаимозависимы, имеют целевую установку и значимость в учебном процессе по физике, зависят от социально-экономических требований, предъявляемых к естественнонаучному образованию инженеров-педагогов.

Иерархичность следует рассматривать с позиции выделения двух аспектов. Во-первых, каждая задача может быть изучена как система. Во-вторых, последовательность в расположении задач в системе осуществляется на основе упорядоченности.

В системе задач представлены различные по виду и типу задачи, в частности, количественные, качественные, графические и экспериментальные. Каждый из видов таких задач требует определенных подходов к их решению, построению множества алгоритмических или эвристических предписаний и приемов решения, тем самым обеспечивая многоуровневость.

Система задач может успешно применяться при соблюдении определенных условий. Условие - это определенное требование, предъявляемое к одной из сторон. Условия использования системы учебных задач прежде всего исходят из принципов дидактики: направленности обучения, наглядности, сознательности и активности, доступности, научности, прочности знаний, систематичности и последовательности.

Обучение студентов умению решать физические задачи является одной из сторон естественнонаучной подготовки инженеров-педагогов, играет важную роль в интеллектуальном развитии специалистов, в углублении и закреплении полученных знаний.

В основу обучения студентов умению решать задачи положены деятельностный подход и теория управления деятельностью личности.

Успешное обучение решению задач связано с выполнением определенных дидактических условий. К числу таких условий могут быть отнесены следующие:

- сформированность у студентов понятий "задача" и "решение задач";
- обоснованность применения определенных методов и способов решения различных видов задач;
- осознанность овладения структурой и содержанием процесса решения задач;
- целенаправленность в формировании алгоритмических и эвристических приемов решения задач;
- преемственность школьного и вузовского подхода к обучению умению решать задачи;
- систематичность и последовательность в формировании у студентов умения решать задачи;
- общность подходов к обучению умению решать задачи в предметах естественнонаучного цикла дисциплин;
- перенос усвоенного умения решать задачи из предметов естественнонаучного цикла дисциплин на технические, специальные и инженерные дисциплины.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Атом - часть вещества микроскопических размеров и массы (микрочастица), наименьшая часть химического элемента, являющаяся носителем его свойств. Молекула - микрочастица, наименьшая часть данного вещества, являющаяся носителем его основных химических и физических свойств и способная к самостоятельному существованию.

Количество вещества - физическая величина, равная числу структурных элементов (атомов, молекул, ионов и т.п.), составляющих систему: $\nu = \frac{N}{N_A}$, где N - число структурных элементов, N_A - число Авогадро.

Моль равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой 0,012 кг.

Относительная атомная масса A_r химического элемента - отношение средней массы $\langle m_a \rangle$ атома данного элемента к 1/12

массы атома углерода: $A_r = \frac{\langle m_a \rangle}{\frac{1}{12} m_c}$, где m_c – масса атома углерода.

Молярная масса вещества M – величина, равная отношению массы m однородной системы к количеству вещества ν этой системы: $M = \frac{m}{\nu}$.

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов $p = \frac{1}{3} m_0 n \langle v^2 \rangle$, где m_0 – масса молекулы, n-число молекул в единице объема, $\langle v^2 \rangle$ – средний квадрат скорости хаотического движения молекул.

Уравнение состояния идеального газа для данной массы газа (закон Клапейрона) $\frac{pV}{T} = const$, $\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$.

Уравнение состояния идеального газа произвольной массы газа (уравнение Менделеева-Клапейрона): $pV = \frac{m}{M} RT$,

где p – давление, V – объем газа, m – масса газа, M – молярная масса, T – термодинамическая температура, R – универсальная газовая постоянная.

Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс: m – $const$, T – $const$)

$pV = const$, $p_1 V_1 = p_2 V_2$, $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$.

Закон Гей-Люссака (изобарный процесс: m – $const$, p – $const$). $\frac{V}{T} = const$, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$.

Закон Шарля (изохорный процесс: m – $const$, V – $const$)

$\frac{p}{T} = const$, $\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}$.

Закон Дальтона: давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений ее отдельных компонентов

$p = p_1 + p_2 + p_3 + \ldots p_n$.

Средняя квадратичная скорость молекул газа

$\sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$, где $m_0 = \frac{M}{N_A}$.

Средняя длина свободного пробега молекул газа

$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n d^2}$, где n – число молекул в единице объема, d – эффективный диаметр молекулы.

ОСНОВНЫЕ КОНСТАНТЫ

Постоянная Авогадро	$N_A = 6{,}02 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$
Молярный объем идеального газа	$V_M = 22{,}4 \cdot 10^{-3}$ м^3/моль
Молярная газовая постоянная	$R = 8{,}31$ Дж/(моль·К)
Постоянная Больцмана	$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ГАЗОВЫЕ ЗАКОНЫ

1. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.
2. Кодирование содержания задачи.
3. Выполнение рисунка, поясняющего содержание задачи.
4. Выявление сущности физического процесса, описанного в содержании задачи.
5. Запись необходимых формул или уравнений (основное уравнение МКТ, уравнение состояния идеального газа, формул изопроцессов).
6. Решение уравнений в общем виде и нахождение искомой величины.
7. Проверка наименования искомой величины.
8. Вычисление искомой величины.
9. Анализ полученного результата.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

Задача 3. В сосуде объемом $V = 2$ л находятся углекислый газ массой $m_1 = 6$ г и азот массой $m_2 = 4$ г при температуре $t = 127^\circ$С. Найти давление смеси в сосуде.

Дано:	СИ
$V = 2$ л	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3
$m_1 = 6$ г	$6 \cdot 10^{-3}$ кг
$m_2 = 4$ г	$4 \cdot 10^{-3}$ кг
$t = 127^\circ$С	$T = 400$ К
$M_1 = 4{,}4 \cdot 10^{-2}$ кг/моль	
$M_2 = 2{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль	
$p - ?$	

Анализ содержания задачи и решение

В сосуде содержится смесь двух газов. В газовой смеси давление p равно сумме парциальных давлений:

$$p = p_1 + p_2 \quad , \quad (1)$$

где p_1 и p_2 – парциальные давления углекислого газа и азота соответственно.

Применим к каждому компоненту смеси уравнение Менделеева–Клапейрона $p_1 V = \frac{m_1}{M_1} RT$, (2) $p_2 V = \frac{m_2}{M_2} RT$. (3)

Сложив почленно эти уравнения, получим

$$(p_1 + p_2)V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT \qquad (4)$$

или

$$pV = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)RT \quad , \qquad (5)$$

$$p = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}\right)\frac{RT}{V} \quad . \qquad (6)$$

Проверим наименование искомой величины

$$[p] = \frac{\text{кг}\cdot\text{Дж}\cdot\text{моль}\cdot\text{К}}{\text{кг}\cdot\text{моль}\cdot\text{К}\cdot\text{м}^3} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па}.$$

Подставим числовые значения

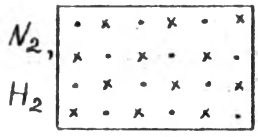
$$p = \left(\frac{6\cdot10^{-3}}{4{,}4\cdot10^{-2}} + \frac{4\cdot10^{-3}}{2{,}8\cdot10^{-2}}\right)\cdot\frac{8{,}31\cdot400}{2\cdot10^{-3}} = 5\cdot10^5 \text{ Па} = 500 \text{ кПа}.$$

Ответ: давление смеси газов равно p = 500 кПа.

Задача 4. В сосуде находятся масса m_1 = 14 г азота и масса m_2 = 9 г водорода при температуре t = 10°С и давлении p = 1 МПа. Найти молярную массу смеси газов.

Дано:	СИ
m_1 = 14 г	$1{,}4\cdot10^{-2}$ кг
m_2 = 9 г	$0{,}9\cdot10^{-2}$ кг
t = 10°С	T = 283 К
p = 1 МПа	10^6 Па
M_1 = $2{,}8\cdot10^{-2}$ кг/моль	
M_2 = $2{,}0\cdot10^{-3}$ кг/моль	

M – ?



Анализ содержания задачи и решение

В результате хаотического движения молекул азота и водорода имеет место равномерное распределение их в занимаемом объеме (рис.). Для наглядности на рисунке условно точками изображены молекулы азота, а крестиками – молекулы водорода. Газовая смесь при этом может рассматриваться как некий "новый газ" с параметрами (m, M, p, V, T). Общее число молекул этого газа N можно представить как произведение количества вещества ν и числа Авогадро N_A

$$N = \nu\cdot N_A = \frac{m}{M}N_A = \frac{m_1 + m_2}{M}\cdot N_A \quad , \qquad (1)$$

где $m = (m_1 + m_2)$ – общая масса газа.

Рассчитаем число молекул азота и водорода соответственно

$$N_1 = \frac{m_1}{M_1} \cdot N_A \quad , (2) \qquad N_2 = \frac{m_2}{M_2} \cdot N_A \quad . (3)$$

Общее число молекул газа в сосуде равно

$$N = N_1 + N_2 = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot N_A \quad , (4)$$

$$\frac{m_1 + m_2}{M} \cdot N_A = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \cdot N_A \quad , (5)$$

$$\frac{m_1 + m_2}{M} = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2}, \quad (6) \qquad \frac{m_1 + m_2}{M} = \frac{m_1 M_2 + m_2 M_1}{M_1 M_2} \quad (7)$$

Отсюда

$$M = \frac{(m_1 + m_2) M_1 M_2}{m_1 M_2 + m_2 M_1} \quad , (8)$$

$$M = \frac{(1{,}4 \cdot 10^{-2} + 0{,}9 \cdot 10^{-2})\ 2{,}8 \cdot 10^{-2}\ 2 \cdot 10^{-3}}{1{,}4 \cdot 10^{-2}\ 2 \cdot 10^{-3} + 0{,}9 \cdot 10^{-2}\ 2{,}8 \cdot 10^{-2}} = 4{,}6 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

Другой способ расчета молярной массы смеси газов может быть произведен по закону Дальтона (давление газовой смеси равно сумме парциальных давлений). В нашем случае: $p = p_1 + p_2$, (I) где p_1 и p_2 – парциальные давления азота и водорода соответственно.

Применим к каждому компоненту смеси уравнение Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V = \frac{m_1}{M_1} RT \quad , (2) \qquad p_2 V = \frac{m_2}{M_2} RT \quad . (3)$$

Сложим почленно эти уравнения

$$(p_1 + p_2) V = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT \quad , (4)$$

$$pV = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) RT \quad . \quad (5)$$

Для смеси газов уравнение состояния газа имеет следующий вид:

$$pV = \frac{m}{M} RT = \frac{m_1 + m_2}{M} RT. \quad (6)$$

Из сопоставления выражений (5) и (6) получим

$$\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} = \frac{m_1 + m_2}{M}, \quad (7) \qquad M = \frac{(m_1 + m_2) M_1 M_2}{m_1 M_2 + m_2 M_1} \quad . (8)$$

Такое же выражение для молярной массы было получено в первом способе решения. Вычисления приводят к тому же результату.

Ответ: молярная масса смеси газов равна $M = 4{,}6 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Задача 5. С некоторой массой идеального газа был произведен замкнутый процесс, изображенный на рис. I. Как изменялся объем газа при переходах I → 2, 2 → 3, 3 → 4, 4 → I?

Дано:

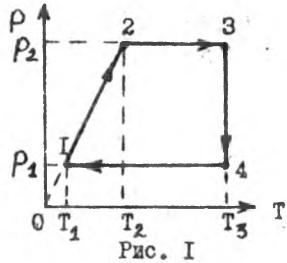


Рис. I

Анализ содержания задачи и решение

Переход газа из состояния I в состояние 2 представляет собой часть изохоры ($V_1 - const$). Следовательно, при переходе газа I → 2 осуществляется при постоянном объеме. Давление газа при этом увеличивается ($p_2 > p_1$) пропорционально росту температуры ($T_2 > T_I$).

Переход 2 → 3 является частью изобары ($p_2 - const$). Отсюда следует, что объем газа увеличивается ($V_3 > V_2$) пропорционально росту температуры ($T_3 > T_2$).

Переход 3 → 4 представляет собой часть изотермы ($T_3 - const$). Это означает, что с уменьшением давления ($p_1 < p_2$) объем газа увеличивается ($V_4 > V_3$).

Переход 4 → I является частью изобары ($p_1 - const$). Следовательно, объем газа уменьшается ($V_1 < V_4$) пропорционально уменьшению температуры ($T_I < T_3$).

Вычертим эту диаграмму в координатах $V = f(T)$ (рис. 2) и $p = f(V)$ (рис. 3).

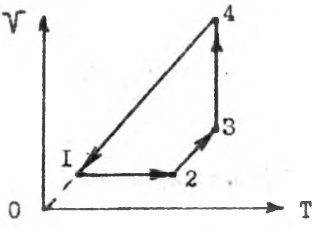


Рис. 2

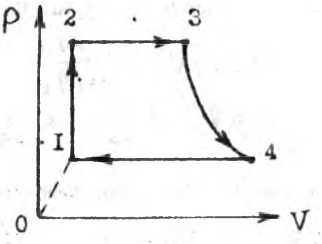


Рис. 3

Ответ: при переходе газа из состояния I в состояние 2 объем сохранялся постоянным, при переходе 2 → 3 – объем газа увеличивался, 3 → 4 – объем увеличивался, 4 → I – объем уменьшался.

Задача 6. Цилиндрический сосуд заполнен газом при температуре $t_1 = 27^0C$ и давлении $p = 100$ кПа и разделен пополам подвижной перегородкой. Каково будет давление p', если газ в одной половине сосуда нагреть до температуры $t_1' = 57^0C$, а во второй половине сосуда оставить без изменения температуры?

Дано:	СИ
$t_1 = 27^0C$	$T_1 = 300$ К
$p = 100$ кПа	10^5 Па
$t_1' = 57^0C$	$T_1' = 330$ К
$p' - ?$	

Анализ содержания задачи и решение

Для наглядности изобразим молекулы газа в цилиндрическом сосуде, разделенным на две равные части подвижной перегородкой (рис. I). В первоначальном состоянии температура газа была в обеих частях сосуда одной и той же. Значит, одинаковым было давление газа в частях сосуда ($p_1 = p_2 = p$).

После того, как в одной половине сосуда газ нагрели до температуры T_1', перегородка приходит в движение (рис. 2). Ее перемещение будет происходить до тех пор, пока давление газа в обеих частях сосуда не станет равным ($p_1' = p_2' = p'$).

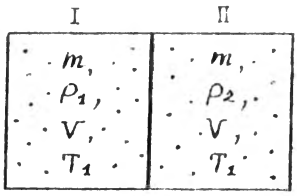


Рис. I

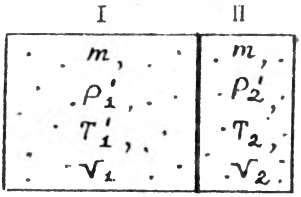


Рис. 2

Применительно к двум состояниям одной и той же массы газа имеем:

$$\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_1' V_1}{T_1'}, \quad (1) \qquad \frac{p_2 V}{T_1} = \frac{p_2' V_2}{T_2}. \quad (2)$$

Изменение объема ΔV одинаково для обеих частей сосуда (на сколько увеличивается объем в первой части сосуда, на столько же он уменьшается во второй части).

Отсюда:

$$V_1 = V + \Delta V, \quad (3) \qquad V_2 = V - \Delta V. \quad (4)$$

С учетом того, что $p_1 = p_2 = p$, $p_1' = p_2' = p'$, $T_1 = T_2$, получим:

$$\frac{p V}{T_1} = \frac{p'(V + \Delta V)}{T_1'}, \quad (5) \qquad \frac{p V}{T_1} = \frac{p'(V - \Delta V)}{T_1}. \quad (6)$$

Разделим полученные выражения на объем V и получим

$$p = p'\left(1 + \frac{\Delta V}{V}\right)\frac{T_1}{T_1'} \quad (7) \qquad p = p'\left(1 - \frac{\Delta V}{V}\right) \quad (8)$$

Отсюда $$\frac{\Delta V}{V} = 1 - \frac{p}{p'} \quad (9)$$

Подставляя выражение для $\frac{\Delta V}{V}$ в уравнение (7), имеем:

$$p = p'\left(1 + 1 - \frac{p}{p'}\right)\frac{T_1}{T_1'} \quad (10)$$

$$p = p'\left(2 - \frac{p}{p'}\right)\frac{T_1}{T_1'} \quad (11)$$

$$p = (2p' - p)\frac{T_1}{T_1'} \quad (12)$$

$$p T_1' = (2p' - p) T_1 \quad (13)$$

$$p' = \frac{p(T_1 + T_1')}{2T_1} \quad (14)$$

$$p' = \frac{10^5 \cdot (300 + 330)}{2 \cdot 300} = \frac{63 \cdot 10^4}{6} = 105 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p' = 105$ кПа.

Задача 7. При откачке азота из резервуара при постоянной температуре давление уменьшилось в 10 раз. Определить изменение средней длины пробега молекул азота, первоначальная плотность которого составляла $\rho = 1{,}4$ г/л.

Дано:	СИ	Анализ содержания задачи и решение
$M = 2{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль $p_2 = 0{,}1\, p_1$ $d = 3{,}1 \cdot 10^{-10}$ м $\rho = 1{,}4$ г/л $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К $R = 8{,}31$ Дж/(моль·К)	1,4 кг/м^3	Для средней длины свободного пробега молекул в МКТ идеального газа было получено соотношение:
$\Delta(\langle\lambda\rangle) - ?$		$\langle\lambda\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}\,\pi n d^2}$ (1)

где $\langle\lambda\rangle$ – средняя длина свободного пробега молекул, d – эффективный диаметр молекулы, n – концентрация молекул.

Для расчета концентрации газа n можно использовать соответствующую формулу МКТ

$p = n k T$, (2) где p – давление газа, k – постоянная Гольцмана, T – абсолютная температура.

При подстановке выражения (2) в соотношение (I) получим зависимость величины $\langle \lambda \rangle$ от давления газа

$$\langle \lambda \rangle = \frac{k T}{\sqrt{2}\pi d^2 p} \quad . \qquad (3)$$

Выразим значение средней длины свободного пробега молекул $\langle \lambda_1 \rangle$ и $\langle \lambda_2 \rangle$ для значений давления газа p_1 и p_2

$$\langle \lambda_1 \rangle = \frac{k T}{\sqrt{2}\pi d^2 p_1} \quad , \quad (4) \quad \langle \lambda_2 \rangle = \frac{k T}{\sqrt{2}\pi d^2 p_2} \quad . \quad (5)$$

Для вычисления температуры T можно использовать уравнение Менделеева-Клапейрона, в которое в неявном виде, как известно, входит и плотность газа ρ

$$p V = \frac{m}{M} R T \quad , \quad (6)$$ где m – масса газа, M – молярная масса, V – объем газа, R – универсальная газовая постоянная.

Поделив обе части уравнения (6) на объем V , а также учитывая, что $\frac{m}{V} = \rho$, получим

$$p = \frac{m}{V} \frac{R T}{M} = \frac{\rho R T}{M} \quad , \quad (7) \quad T = \frac{M p}{\rho R} \quad , \quad T = \frac{M p_1}{\rho_1 R} \quad . \quad (8)$$

Подставив это значение T в равенства (4) и (5), определим среднюю длину пробега молекул $\langle \lambda_1 \rangle$ и $\langle \lambda_2 \rangle$

$$\langle \lambda_1 \rangle = \frac{k M p_1}{\sqrt{2}\pi d^2 p_1 \rho_1 R} \quad , \quad (9) \qquad \langle \lambda_2 \rangle = \frac{k M p_2}{\sqrt{2}\pi d^2 p_2 \rho_1 R} \quad . \quad (10)$$

Отсюда изменение средней длины пробега молекул равно

$$\Delta(\langle \lambda \rangle) = \langle \lambda_2 \rangle - \langle \lambda_1 \rangle = \frac{k M p_1 (p_1 - p_2)}{\sqrt{2}\pi d^2 \rho_1 R p_1 p_2} \quad . \qquad (11)$$

Сокращая на p_1 и учитывая соотношение $p_2 = 0{,}1\, p_1$, будем иметь для $\Delta(\langle \lambda \rangle)$

$$\Delta(\langle \lambda \rangle) = \frac{9 k M}{\sqrt{2}\pi d^2 \rho_1 R} \quad . \qquad (12)$$

Подставим числовые значения

$$\Delta(\langle\lambda\rangle) = \frac{9 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23}\ 2{,}8 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot (3{,}1 \cdot 10^{-10})^2\ 1{,}4 \cdot 8{,}31} = 7 \cdot 10^{-7}\ \text{м}.$$

Ответ: изменение средней длины свободного пробега молекул равно $\Delta(\langle\lambda\rangle) = 7 \cdot 10^{-7}$ м.

Задача 8. В баллоне объемом $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3 содержится углекислый газ при температуре T = 400 К и давлении p = 1,5 Па. Сколько столкновений происходит между молекулами газа за 1 с?

Дано:

$M = 4{,}4 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
$V = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3
$T = 400$ К
$p = 1{,}5$ Па
$t = 1$ с
$d = 4{,}0\ 10^{-10}$ м

$z - ?$

Анализ содержания задачи и решение

При хаотическом поступательном движении молекул газа среднее число столкновений одной молекулы в секунду вычисляется по формуле:

$$\langle z_0 \rangle = \sqrt{2}\,\pi d^2 \langle v \rangle \quad , \quad (1)$$

где d – эффективный диаметр молекулы, $\langle v \rangle$ – средняя скорость молекулы газа.

При максвелловском распределении молекул по скоростям для этой скорости было получено соотношение

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad , \quad (2)$$

где R – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура, M – молярная масса.

Общее число столкновений молекул за секунду можно вычислить, рассматривая столкновение молекул следующим образом. Если присвоить каждой молекуле порядковый номер и рассматривать последовательные столкновения ее с остальными, то в среднем за секунду число столкновений каждой молекулы будет равно $\langle z_0 \rangle$.

Итак, будем иметь следующий порядок столкновений молекул:

- для первой молекулы: 1-2, 1-3, 1-4, ... общее число $\langle z_0 \rangle$;
- для второй молекулы: 2-1, 2-3, 2-4, ... общее число $\langle z_0 \rangle$;
- для третьей молекулы: 3-1, 3-2, 3-4, ... общее число $\langle z_0 \rangle$;
- . . . . . .
- для N-й молекулы: N-1, N-2, N-3, ... общее число $\langle z_0 \rangle$.

Столкновения вида "1-2" и "2-1" представляют собой одно и то же столкновение и должны при подсчете числа столкновений учитываться как одно столкновение. Это же относится и к другим парам столкновений.

Следовательно, одно и тоже столкновение дважды войдет в число столкновений, если его вычислить путем умножения количества строк, равное количеству всех молекул газа N, на число столкновений в секунду каждой молекулы $\langle z_0 \rangle$.

Отсюда число всех столкновений $\langle z \rangle$ равно

$$\langle z \rangle = \frac{N \langle z_0 \rangle}{2} \quad . \qquad (3)$$

Количество молекул в газе N можно определить, вычислив предварительно концентрацию газа n с помощью формулы для давления газа p

$$p = nkT \quad , \quad (4) \qquad n = \frac{p}{kT} \quad . \quad (5)$$

Для числа молекул N будем иметь

$$N = nV \quad , \quad (6) \qquad N = \frac{pV}{kT} \quad . \quad (7)$$

Решая совместно выражения (I) и (2), (3) и (7), получим

$$\langle z_0 \rangle = \sqrt{2}\pi d^2 \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad , \quad (8) \qquad \langle z \rangle = \frac{pV \langle z_0 \rangle}{2kT} \quad , (9)$$

$$\langle z \rangle = \frac{\sqrt{2}\pi d^2 pV}{2kT} \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \quad . \qquad (10)$$

Проверим наименование $\langle z \rangle$

$$[\langle z \rangle] = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Па} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{К}}{\text{Дж} \cdot \text{К}} \sqrt{\frac{\text{Дж} \cdot \text{К} \cdot \text{моль}}{\text{моль} \cdot \text{К} \cdot \text{кг}}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{Н} \cdot \text{м}^3} \sqrt{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{м}^3/\text{с}.$$

Подставим числовые значения

$$\langle z \rangle = \frac{\sqrt{2} \cdot 3{,}14 \cdot 16 \cdot 10^{-20} \cdot 1{,}5 \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 4 \cdot 10^{2}} \sqrt{\frac{8 \cdot 8{,}31 \cdot 4 \cdot 10^{2}}{3{,}14 \cdot 4{,}4 \cdot 10^{-2}}} \approx$$

$$\approx 10^{41} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Ответ: число столкновений между молекулами углекислого газа равно $\langle z \rangle \approx 10^{41}$ м^3/с.

Задача 9. Определить среднюю квадратичную скорость $\langle v_{кв} \rangle$ молекулы газа, заключенного в сосуд объемом $V = 2$ л под давлением $p = 200$ кПа. Масса газа $m = 0{,}3$ г.

Дано:	СИ
$V = 2$ л	$2 \cdot 10^{-3}$ м^3
$p = 200$ кПа	$2 \cdot 10^5$ Па
$m = 0{,}3$ г	$0{,}3 \cdot 10^{-3}$ кг
$\langle v_{кв} \rangle - ?$	

Анализ содержания задачи и решение

Средняя квадратичная скорость молекулы газа равна:

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \quad , (1)$$

где k – постоянная Больцмана, T – абсолютная температура, m_0 – масса молекулы газа.

Температуру T определим из уравнения Менделеева–Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} RT \quad , (2) \qquad T = \frac{pVM}{mR} \quad . (3)$$

Подставим полученное выражение для температуры T в соотношение (I)

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kpVM}{m_0 R m}} \quad , (4)$$ где масса молекулы $m_0 = \frac{M}{N_A}$ (5)

Число молекул газа выразим из соотношения

$$\frac{N}{N_A} = \frac{m}{M} , (6) \qquad N = \frac{m}{M} N_A , (7) \qquad m_0 = \frac{M}{N_A} . (8)$$

Подставляя полученное выражение для массы молекулы газа в формулу (4), имеем

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3kpVMN_A}{MRm}} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} \quad , (9)$$

где $k \cdot N_A = R$.

Проверим наименование $\langle v_{кв} \rangle$

$$\left[\langle v_{кв} \rangle\right] = \sqrt{\frac{\text{Па} \cdot \text{м}^3}{\text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2 \cdot \text{кг}}} = \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}}} = \text{м/с}.$$

Произведем расчет

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{\frac{3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{0{,}3 \cdot 10^{-3}}} = 2 \cdot 10^3 \text{ м/с}.$$

Ответ: средняя квадратичная скорость молекулы газа равна $\langle v_{кв} \rangle = 2 \cdot 10^3$ м/с.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ЗАКОНЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Внутренняя энергия газа

$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT$, где i – число степеней свободы (для одноатомного газа $i = 3$, для двухатомного газа $i = 5$, для многоатомного газа $i = 6$).

Количество теплоты Q – энергия, передаваемая более нагретым телом менее нагретому телу, не связанная с переносом вещества и совершением работы:

$$Q = cm\Delta T.$$

Теплоемкость тела (системы) C – величина, равная производной от количества теплоты по температуре в каком-либо термодинамическом процессе

$$C_x = \frac{dQ_x}{dT}$$

(в изохорном процессе – "изохорная теплоемкость" C_V , в изобарном – "изобарная теплоемкость" C_p).

Молярная теплоемкость C_M – величина, равная отношению теплоемкости однородной системы к количеству вещества этой системы:

$$C_M = \frac{C}{\nu} .$$

Связь между молярной C_M и удельной c теплоемкостями

$$C_M = Mc.$$

Молярная теплоемкость газа при постоянном объеме

$$C_V = \frac{i}{2} R,$$

молярная теплоемкость при постоянном давлении

$$C_p = C_V + R.$$

Первое начало термодинамики $dQ = dU + dA$, где dQ – количество теплоты, полученное газом, dU – приращение внутренней энергии газа, dA – работа, совершаемая газом.

Работа, совершаемая газом $A = \int_1^2 p dV.$

Адиабатный процесс – термодинамический процесс, в котором система не обменивается теплотой с окружающей средой.

Для адиабатного газового процесса (уравнение Пуассона) $pV^{\gamma} = const$, где показатель адиабаты γ равен отношению молярных теплоемкостей газа $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$.

Уравнение политропного процесса имеет вид

$pV^n = const$, где n – показатель политропы ($0 < n < \infty$).

Энтропия S – функция состояния термодинамической системы, определяемая тем, что ее дифференциал dS при элементарном равновесном обратимом процессе равен отношению бесконечно малого количества теплоты dQ , сообщенного системе, к термодинамической температуре T системы: $dS = \frac{dQ}{dT}$.

Если система перешла из состояния I в состояние 2, то

$$dS = \int_1^2 \frac{dQ}{T} .$$

Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины

$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$, где Q_1 – количество теплоты, полученное рабочим телом от нагревателя, Q_2 – количество теплоты, отданное холодильнику.

КПД идеальной тепловой машины (цикл Карно):

$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, где T_I и T_2 – термодинамические температуры нагревателя и холодильника.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ТЕРМОДИНАМИКЕ

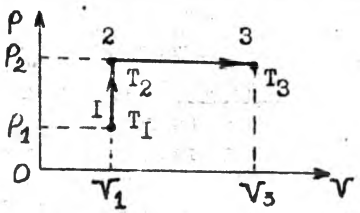
Задача I0. Некоторое количество газа занимало объем $V_1 = 0{,}01$ м^3 и находилось под давлением $p_1 = 0{,}1$ МПа при температуре $T_I = 300$ К. Затем газ был изохорно нагрет до температуры $T_2 = 320$ К, а после этого нагрет при постоянном давлении до температуры $T_3 = 350$ К (рис.). Найти работу A , которую совершил газ при переходе из состояния I в 3.

Дано:

$V_1 = 0{,}01$ м^3
$p_1 = 0{,}1$ МПа $\quad 0{,}1 \cdot 10^6$ Па
$T_I = 300$ К
$T_2 = 320$ К
$T_3 = 350$ К

$A = ?$

Анализ содержания задачи и решение



Для нахождения работы A, совершенной газом при переходе из первоначального состояния I в состояние 3, рассмотрим два участка перехода газа I → 2 и 2 → 3.

Отсюда

$$A = A_1 + A_2 \quad , (I)$$

где A_1 и A_2 - работы, совершенные газом при переходе I → 2 и 2 → 3 соответственно.

Переход газа I → 2 является изохорным процессом (m - $const$, V_1 - $const$). Следовательно, приращение объема газа ΔV равно нулю, то есть $\Delta V = V_2 - V_1 = 0$.

Отсюда

$$A_1 = p\Delta V = 0 \quad (2) \quad \text{или} \quad A_1 = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV = 0. \quad (3)$$

Переход газа из состояния 2 в состояние 3 представляет собой изобарный процесс (m - $const$, p_2 - $const$). Следовательно, работу A_2 найдем таким образом

$$A_2 = \int_{V_2}^{V_3} p_2\,dV = p_2 (V_3 - V_1) . \quad (4)$$

Итак, работа газа A при переходе из первоначального состояния I в состояние 3 равна

$$A = A_2 = p_2 (V_3 - V_1) . \quad (5)$$

В полученном выражении неизвестными являются давление газа p_2 и его объем V_3.

Давление газа определим из закона Шарля (изохорный процесс, переход газа I → 2).

Итак,

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad , (6) \qquad p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1} \quad . (7)$$

Объем газа V_3 вычислим, используя закон Гей-Люссака (изобарный процесс, переход газа 2 → 3).

Имеем

$$\frac{V_3}{V_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad , (8) \qquad V_3 = V_1 \frac{T_3}{T_2} \quad . (9)$$

Подставляя соотношения (7) и (9) в выражение (5), получим

$$A = p_1 \frac{T_2}{T_1} \left(V_1 \frac{T_3}{T_2} - V_1 \right) = p_1 V_1 \frac{T_2}{T_1} \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right) =$$

$$= p_1 V_1 \frac{T_2}{T_1} \left(\frac{T_3 - T_2}{T_2} \right) = \frac{p_1 V_1}{T_1} (T_3 - T_2) . \quad (10)$$

Проверим наименование работы A

$$[A] = \frac{\text{Па}\cdot\text{м}^3\cdot\text{К}}{\text{К}} = \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^3}{\text{м}^2} = \text{Н}\cdot\text{м} = \text{Дж}.$$

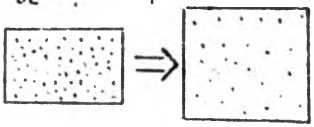
Произведем расчет величины работы A

$$A = \frac{10^5\cdot 10^{-2}}{300}\,(350 - 320) = 100\ \text{Дж}.$$

Ответ: $A = 100$ Дж.

Задача II. При изотермическом расширении газа, занимавшего объем $V_1 = 2\ \text{м}^3$, давление его меняется от $p_1 = 0{,}5$ МПа до $p_2 = 0{,}4$ МПа. Найти работу A, совершенную газом.

Дано:	
T – const	
$V_1 = 2\ \text{м}^3$	
$p_1 = 0{,}5$ МПа	$0{,}5\cdot 10^6$ Па
$p_2 = 0{,}4$ МПа	$0{,}4\cdot 10^6$ Па
$A - ?$	



Анализ содержания задачи и решение

Температура газа остается неизменной, процесс изотермический. Газ совершает работу, при этом увеличивается его объем, а следовательно, уменьшается давление (рис.).

Работа A, совершаемая газом, равна

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p\,dV . \qquad (1)$$

Давление газа p найдем из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M}RT , \qquad (2) \qquad p = \frac{mRT}{MV} . \qquad (3)$$

Отсюда

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{mRT}{M}\frac{dV}{V} = \frac{mRT}{M}\ln V\Big|_{V_1}^{V_2} =$$

$$= \frac{mRT}{M}(\ln V_2 - \ln V_1) = \frac{mRT}{M}\ln\frac{V_2}{V_1} . \qquad (4)$$

Так как процесс изотермический, то

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{p_1}{p_2} . \qquad (5)$$

Следовательно,

$$A = \frac{mRT}{M}\ln\frac{p_1}{p_2} . \qquad (6)$$

Неизвестным остается соотношение $\frac{mRT}{M}$. Найдем его из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} RT \quad . \qquad (7)$$

Отсюда

$$A = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad . \qquad (8)$$

Проверим наименование A

$[A] = \text{Па}\cdot\text{м}^3 = \text{Н}\cdot\text{м} = \text{Дж}$,

$$A = 2\cdot 0{,}5\cdot 10^6 \ln 1{,}25 = 10^6 \ln 1{,}25 = 10^6 \frac{\lg 1{,}25}{0{,}4342} =$$

$$= 10^6 \frac{0{,}0969}{0{,}4342} = 223 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 223$ кДж.

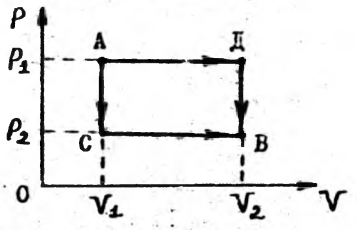
Задача 12. Некоторая масса кислорода занимает объем $V_1 = 3{,}0\cdot 10^{-3}$ м^3 при температуре $T_1 = 300$ К и давлении $p_1 = 8{,}2\cdot 10^5$ Па (рис.). В другом состоянии газ имеет параметры $V_2 = 4{,}5\cdot 10^{-3}$ м^3 и $p_2 = 6{,}0\cdot 10^5$ Па. Найти количество теплоты Q, полученное газом, работу A, совершенную газом при расширении, и приращение внутренней энергии газа ΔU при переходе газа из одного состояния в другое: а) по участку АСВ; б) по участку АДВ.

Дано:

$V_1 = 3{,}0\cdot 10^{-3}$ м^3
$T_1 = 300$ К
$p_1 = 8{,}2\cdot 10^5$ Па
$V_2 = 4{,}5\cdot 10^{-3}$ м^3
$p_2 = 6{,}0\cdot 10^5$ Па
а) по участку АСВ
б) по участку АДВ

$Q - ?\ A - ?\ \Delta U - ?$

Анализ содержания задачи и решение



Рассмотрим переход газа из состояния А в состояние В по участку АСВ. Этот переход представляет собой изохорный процесс (m – const , V_1 – const , А ⟶ С) и изобарный процесс (m – const , p_2 – const , С ⟶ В).

Для определения приращения внутренней энергии на участке АСВ запишем: $\Delta U = \Delta U_1 + \Delta U_2$. (1)

где ΔU_1 и ΔU_2 – приращение внутренней энергии на участках АС и СВ соответственно.

Найдем ΔU_1 и ΔU_2

$$\Delta U_1 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R \Delta T_1 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R (T_C - T_1) \quad , (2)$$

$$\Delta U_2 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R \Delta T_2 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R (T_B - T_C) \quad . (3)$$

Неизвестными величинами в уравнениях (2) и (3) являются температуры T_C и T_B.

Температуру T_C определим, используя соотношение изохорного процесса (переход А ⟶ С)

$$\frac{T_C}{T_1} = \frac{P_2}{P_1} \quad , (4) \qquad T_C = T_1 \frac{P_2}{P_1} \quad . (5)$$

Подставляя выражение (5) в уравнение (2), получим

$$\Delta U_1 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) \quad , (6)$$

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2}\frac{m}{M} R T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} - 1\right) \quad , (7)$$

где $i = 5$ – число степеней свободы двухатомного газа.

Температуру T_B вычислим, применив уравнение изобарного процесса (переход С ⟶ В).

Согласно закону Гей-Люссака

$$\frac{T_B}{T_C} = \frac{V_2}{V_1} \quad , (8) \qquad T_B = T_C \frac{V_2}{V_1} \quad . (9)$$

Или с учетом выражения (5)

$$T_B = T_1 \frac{P_2}{P_1} \cdot \frac{V_2}{V_1} \quad . (10)$$

Подставив выражение (10) в уравнение (3), имеем

$$\Delta U_2 = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\cdot\frac{V_2}{V_1} - \frac{P_2}{P_1}\right) = \frac{i}{2}\frac{m}{M} R T_1 \frac{P_2}{P_1}\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right),$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2}\frac{m}{M} R T_1 \frac{P_2}{P_1}\left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right) . \quad (11)$$

В уравнениях (7) и (II) неизвестной величиной является масса газа m. Определим ее значение из уравнения Менделеева-Клапейрона

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1 \quad , \text{(I2)} \qquad m = \frac{M p_1 V_1}{R T_1} \quad . \text{(I3)}$$

Подставим выражение массы газа в уравнения (7) и (II). Отсюда

$$\Delta U_1 = \frac{5}{2} p_1 V_1 \left(\frac{p_2}{p_1} - 1\right) = \frac{5}{2} V_1 (p_2 - p_1) \quad , \text{(I4)}$$

$$\Delta U_2 = \frac{5}{2} p_1 V_1 \frac{p_2}{p_1} \left(\frac{V_2}{V_1} - 1\right) = \frac{5}{2} p_2 (V_2 - V_1) . \text{(I5)}$$

Итак;

$$\Delta U = \frac{5}{2} \left[V_1 (p_2 - p_1) + p_2 (V_2 - V_1)\right] =$$

$$= \frac{5}{2} (p_2 V_1 - p_1 V_1 + p_2 V_2 - p_2 V_1) = \frac{5}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) . \text{(I6)}$$

Проверим наименование ΔU

$$\left[\Delta U\right] = \text{Па} \cdot \text{м}^3 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^2} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Вычислим ΔU

$$\Delta U = 2{,}5 \cdot (6 \cdot 4{,}5 \cdot 10^2 - 8{,}2 \cdot 5 \cdot 10^2) = 2{,}5 \cdot 2{,}9 \cdot 10^2 = 0{,}63 \text{кДж}.$$

Вычисление работы газа на участке АСВ сводится к нахождению работы газа на участках А ⟶ С и С ⟶ В.

Отсюда

$$A = A_1 + A_2 \quad , \text{(I7)}$$

где A_1 и A_2 – работа газа на участках АС и СВ соответственно.

Работа газа $A_1 = 0$, так как при переходе газа из состояния А в состояние С объем газа не изменялся ($V_1 - const$).

Следовательно,

$$A = A_2 \quad , \text{(I8) где} \quad A_2 = p_2 (V_2 - V_1) . \text{(I9)}$$

Итак, $A_2 = 6 \cdot 10^5 \ (4{,}5 - 3{,}0) \cdot 10^{-3} = 0{,}9$ кДж, $A = 0{,}9$ кДж.

Согласно I началу термодинамики

$$Q = \Delta U + A \quad , \text{(20)} \quad Q = 0{,}63 + 0{,}9 = 1{,}53 \text{ кДж}.$$

Ответ: $\Delta U = 0{,}63$ кДж, $A = 0{,}9$ кДж, $Q = 1{,}53$ кДж.

Примечание. Переход газа из состояния А в состояние В по участку АДВ предлагается студентам для самостоятельного решения.

Задача 13. Азот количеством $\nu = 1$ моль, находящийся при нормальных условиях, расширяется адиабатически от объема V_1 до $V_2 = 5V_1$. Найти приращение внутренней энергии газа ΔU и работу A, совершенную газом при расширении.

Дано:
$M = 2{,}8 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
$p_1 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па
$T_1 = 273$ К
$V_2 = 5V_1$

$\Delta U - ?$ $A - ?$

Анализ содержания задачи и решение

При адиабатическом расширении газа происходит его охлаждение. При этом приращение внутренней энергии газа равно

$$\Delta U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}R\Delta T, \quad (1)$$ где $i = 5$, $\frac{m}{M} = \nu$, $\Delta T = T_2 - T_1$.

Отсюда

$$\Delta U = \frac{5}{2}\nu R(T_2 - T_1). \quad (2)$$

Для определения неизвестной температуры T_2 запишем уравнение Пуассона

$$TV^{\gamma-1} = const, \quad (3)$$

где $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ – показатель адиабаты.

Следовательно,

$$T_1V_1^{\gamma-1} = T_2V_2^{\gamma-1}, \quad (4) \qquad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{\gamma-1}, \quad (5)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{5V_1}{V_1}\right)^{\gamma-1}, \quad (6) \qquad T_2 = \frac{T_1}{5^{\gamma-1}}. \quad (7)$$

Полученное выражение для температуры T_2 подставим в соотношение (2).

Отсюда $\Delta U = \frac{5}{2}\nu R\left(\frac{T_1}{5^{\gamma-1}} - T_1\right)$,

$$\Delta U = \frac{5}{2}\nu RT_1\left(\frac{1}{5^{\gamma-1}} - 1\right), \quad (8)$$ где $\gamma = \frac{29{,}1}{20{,}8} = 1{,}45$.

Вычислим ΔU

$$\Delta U = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 8{,}31 \cdot 273}{2}\left(\frac{1}{5^{0{,}45}} - 1\right) = -2{,}7 \text{ МДж}.$$

При адиабатическом процессе $dQ = 0$, $\Delta U = -A$.

Отсюда $A = 2{,}7$ МДж.

Ответ: $\Delta U = -2{,}7$ МДж, $A = 2{,}7$ МДж.

Задача I4. Кислород массой $m = 10^{-2}$ кг нагревается от температуры $T_1 = 323$ К до $T_2 = 423$ К. Найти приращение энтропии ΔS, если нагревание происходит: а) изохорически; б) изобарически.

Дано:

$m = 10^{-2}$ кг
$M = 3{,}2\ 10^{-2}$ кг/моль
$T_1 = 323$ К
$T_2 = 423$ К
а) V - const
б) p - const

$\Delta S_1 - ?\quad \Delta S_2 - ?$

Анализ содержания задачи и решение

Вычислим приращение энтропии ΔS_1 при изохорном процессе (m - const, V - const).

Для этого запишем формулу приращения энтропии ΔS_1

$$\Delta S_1 = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}, \quad (1)$$

где S_1 и S_2 - энтропии двух состояний газа.

Для определения количества теплоты обратимся к I началу термодинамики

$$dQ = dU + dA, \quad (2)$$

где $dA = 0$, так как V - const.

Отсюда

$$dQ = dU, \quad (3)$$

где $$dU = \frac{5}{2}\frac{m}{M} R\, dT, \quad (4)$$

$i = 5$, так как кислород двухатомный газ.

Подставляя выражение (4) в формулу для приращения энтропии (I), имеем

$$\Delta S_1 = \int_1^2 \frac{5}{2}\frac{m}{M} R \frac{dT}{T} =$$

$$= \frac{5}{2}\frac{m}{M} R \ln T \Big|_1^2 = \frac{5}{2}\frac{m}{M} R \ln \frac{T_2}{T_1}. \quad (5)$$

Проверим наименование ΔS_1

$$\left[\Delta S_1\right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{моль} \cdot \text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}.$$

Рассчитаем приращение энтропии

$$\Delta S_1 = \frac{5 \cdot 10^{-2} \cdot 8{,}31}{2 \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-2}} \ln \frac{423}{323} = 6{,}5 \ln 1{,}309 =$$

$$= 6{,}5 \frac{\lg 1{,}309}{0{,}4342} = 6{,}5 \frac{0{,}1173}{0{,}4342} = 1{,}8 \text{ Дж/К}.$$

Вычислим приращение энтропии ΔS_2 для изобарного процесса (m – $const$, p – $const$).

Приращение энтропии в этом случае равно

$$\Delta S_2 = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad . \qquad (6)$$

Для определения количества теплоты dQ запишем I начало термодинамики

$$dQ = dU + dA \quad , \qquad (7)$$

где dU и dA равны

$$dU = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\, dT \quad , \qquad (8) \qquad dA = p\, dV \quad . \qquad (9)$$

Отсюда

$$dQ = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\, dT + p\, dV \quad . \qquad (10)$$

В полученном выражении неизвестной величиной является давление газа p . Для его определения воспользуемся уравнением Менделеева-Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} R\, T \quad , \qquad (11) \qquad p = \frac{m\, R\, T}{M\, V} \quad . \qquad (12)$$

Подставляя выражение давления газа в соотношение (10), получим

$$dQ = \frac{5}{2} \frac{m}{M} R\, dT + \frac{m}{M} RT \frac{dV}{V} \quad . \qquad (13)$$

С учетом выражения (13) формула (6) будет иметь следующий вид

$$\Delta S_2 = \int_1^2 \frac{5}{2} \frac{m}{M} R \frac{dT}{T} + \int_1^2 \frac{m}{M} RT \frac{dV}{V} \, ,$$

$$\Delta S_2 = \frac{m}{M} R \left(\frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{V_2}{V_1} \right) \quad . \qquad (14)$$

Из закона Гей-Люссака (изобарный процесс) следует, что

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad . \qquad (15)$$

Учитывая это соотношение, выражение (14) примет вид

$$\Delta S_2 = \frac{m}{M} R \left(\frac{5}{2} \ln \frac{T_2}{T_1} + \ln \frac{T_2}{T_1} \right) = \frac{7}{2} \frac{m}{M} R \ln \frac{T_2}{T_1} \quad . \qquad (16)$$

Проверим наименование ΔS_2 $\left[\Delta S_2\right] = \frac{\text{кг·моль·Дж}}{\text{кг·моль·К}} = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$

Приведем расчеты ΔS_2

$$\Delta S_2 = \frac{7 \cdot 10^{-2} \cdot 8{,}31}{2 \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-2}} \ln \frac{423}{323} = 2{,}5 \text{ Дж/К}.$$

Ответ: $\Delta S_1 = 1{,}8$ Дж/К; $\Delta S_2 = 2{,}5$ Дж/К; при изобарном процессе приращение энтропии больше, чем при изохорном процессе.

Задача 15. В идеальной тепловой машине за счет каждого килоджоуля энергии, получаемой от нагревателя, совершается работа $\mathcal{A} = 200$ Дж. Определить КПД машины и температуру нагревателя, если температура холодильника $T_2 = 280$ К.

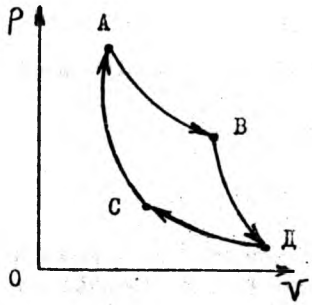
Дано:

$Q = 10^3$ Дж
$\mathcal{A} = 200$ Дж
$T_2 = 280$ К

$\eta - ?$ $T_1 - ?$

Анализ содержания задачи и решение

В идеальной тепловой машине совершается цикл Карно (рис.). Прямой цикл Карно состоит из четырех последовательных обратимых процессов: изотермического расширения (А ⟶ В, T_1 – const), адиабатического расширения (В ⟶ Д), изотермического сжатия (Д ⟶ С, T_2 – const), адиабатического сжатия (С ⟶ А). Для определения КПД тепловой машины запишем



$$\eta = \frac{\mathcal{A}}{Q} . \quad (1)$$

При подстановке числовых данных получим

$$\eta = \frac{200}{1000} = 0{,}2 \text{ или } 20\%.$$

Температуру нагревателя вычислим, записав формулу термического КПД прямого равновесного цикла Карно

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} . \quad (2)$$

где T_1 и T_2 – температуры нагревателя и холодильника соответственно.

Отсюда $T_1(1-\eta) = T_2$, $T_1 = \frac{T_2}{1-\eta}$. (3)

$$T_1 = \frac{280}{1 - 0{,}2} = 350 \text{ К}.$$

Ответ: $\eta = 20\%$; $T_1 = 350$ К.

РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ. НАСЫЩЕННЫЕ ПАРЫ И ЖИДКОСТИ

Уравнение Ван-дер-Ваальса для I моля газа

$$\left(p + \frac{a}{V_м^2}\right)(V_м - b) = RT,$$

для ν молей газа

$$\left(p + \nu^2 \frac{a}{V^2}\right)(V - \nu b) = \nu RT,$$

где a и b – постоянные Ван-дер-Ваальса, зависящие от критических параметров газа.

Критические параметры

$$p_{кр} = \frac{a}{27b^2}, \quad T_{кр} = \frac{8a}{27bR}, \quad V_{кр} = 3b.$$

Сила поверхностного натяжения

$$F = \sigma \ell.$$

Работа силы поверхностного натяжения

$$A = \int_{S_1}^{S_2} \sigma \, dS.$$

Добавочное давление, вызванное кривизной поверхности жидкости, определяется формулой Лапласа

$$\Delta p = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right),$$

где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости.

Высота поднятия жидкости в капиллярной трубке

$$h = \frac{2\sigma \cos\theta}{\rho g R},$$

где R – радиус трубки, ρ – плотность жидкости, θ – краевой угол. При полном смачивании $\theta = 0$, при полном несмачивании $\theta = \pi$.

Формула зависимости объема жидкости от температуры

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta T).$$

Задача I6. Углекислый газ в количестве I кмоль занимает объем V = I м^3 при температуре t = I00 °С. Найти давление газа.

Дано:

ν = I кмоль	10^3 моль
t = I00 °С	T = 373 К
V = I м^3	
$T_{кр}$ = 304 К	
$p_{кр}$ = 7,38·10^6 Па	

p - ?

Анализ содержания задачи и решение

Для определения давления воспользуемся уравнением Ван-дэр-Ваальса для ν молей газа

$$\left(p+\nu^2\frac{a}{V^2}\right)(V-\nu b)=RT \quad , \quad (I)$$

$$p+\nu^2\frac{a}{V^2}=\frac{\nu RT}{V-\nu b} \quad , \quad (2) \qquad p=\frac{\nu RT}{V-\nu b}-\nu^2\frac{a}{V^2} \quad . \quad (3)$$

Значения поправок a и b найдем, записав выражения для критического давления и критической температуры углекислого газа

$$p_{кр}=\frac{a}{27b^2} \quad , \quad (4) \qquad T_{кр}=\frac{8a}{27Rb} \quad . \quad (5)$$

Найдем из соотношения (5) поправку a

$$a=\frac{27Rb\,T_{кр}}{8} \quad , \quad (6) \qquad p_{кр}=\frac{27RT_{кр}b}{27\cdot 8\cdot b^2}=\frac{RT_{кр}}{8b} \quad , \quad (7)$$

$$b=\frac{RT_{кр}}{8p_{кр}} \quad , \quad (8) \qquad a=\frac{27R^2T_{кр}^2}{64p_{кр}} \quad . \quad (9)$$

Подставляя соотношения (8) и (9) в выражение (3), получим

$$p=\frac{\nu RT}{V-\nu\frac{RT_{кр}}{8p_{кр}}}-\nu^2\frac{27R^2T_{кр}^2}{64p_{кр}V^2} \quad , \quad (10)$$

$$p=\frac{8\nu RTp_{кр}}{8p_{кр}V-\nu RT_{кр}}-\nu^2\frac{27R^2T_{кр}^2}{64p_{кр}V^2} \quad . \quad (11)$$

Проверим наименование

$$\left[\nu RTp_{кр}\right]=\frac{\text{моль}\cdot\text{Дж}\cdot\text{К}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}=\frac{\text{Н}\cdot\text{Н}\cdot\text{м}}{\text{м}^2}=\frac{\text{м}^2}{\text{м}} \quad ;$$

$$[p_{кр}V] = \text{Па}\cdot\text{м}^3 = \frac{\text{Н}\cdot\text{м}^3}{\text{м}^2} = \text{Н}\cdot\text{м};$$

$$[\nu R T_{кр}] = \frac{\text{моль}\cdot\text{Дж}\cdot\text{К}}{\text{моль}\cdot\text{К}} = \text{Н}\cdot\text{м};$$

$$\left[\frac{8\nu R T p_{кр}}{8p_{кр}V - \nu R T_{кр}}\right] = \frac{\text{Н}^2}{\text{м}\cdot\text{Н}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

$$\left[\frac{\nu^2 27 R^2 T_{кр}^2}{64 p_{кр} V^2}\right] = \frac{\text{моль}^2\cdot\text{Дж}^2\cdot\text{К}^2}{\text{моль}^2\cdot\text{К}^2\cdot\text{Па}\cdot\text{м}^3\cdot\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

$[p] = \text{Па}$.

Произведем вычисления

$$p = \frac{8\cdot 10^3\cdot 8{,}31\cdot 373\cdot 7{,}38\cdot 10^6}{8\cdot 7{,}38\cdot 10^6\cdot 1 - 10^3\cdot 8{,}31\cdot 304} - \frac{10^6\cdot 27\cdot (8{,}31)^2\cdot 304^2}{64\cdot 7{,}38\cdot 10^6\cdot 1} =$$

$= 2{,}87$ МПа.

Ответ: $p = 2{,}87$ МПа.

Задача 17. Какая масса водяного пара содержится в объеме $V = 1\ \text{м}^3$ воздуха в летний день при температуре $t = 30\ ^\circ\text{C}$ и относительной влажности $r = 0{,}75$?

Дано:

$M = 1{,}8\cdot 10^{-2}$ кг/моль
$V = 1\ \text{м}^3$
$t = 30\ ^\circ\text{C}$
$r = 0{,}75$

$T = 303$ К

$m - ?$

$p_н = 4229$ Па

Анализ содержания задачи и решения

Для определения массы водяного пара воспользуемся уравнением Менделеева–Клапейрона

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad (1)$$

$$m = \frac{MpV}{RT}. \quad (2)$$

Давление водяных паров p найдем из выражения относительной влажности

$$r = \frac{p}{p_н}, \quad (3) \qquad p = r p_н. \quad (4)$$

Подставляя выражение (4) в соотношение массы m, получим

$$m = \frac{M \cdot p_н \cdot V}{R \cdot T} \quad . \qquad (5)$$

Проверим наименование m

$$[m] = \frac{кг \cdot Па \cdot м^3 \cdot моль \cdot К}{моль \cdot Дж \cdot К} = \frac{кг \cdot Н \cdot м^3}{Н \cdot м^3} = кг.$$

Подставим числовые значения

$$m = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}75 \cdot 4229 \cdot 1}{8{,}31 \cdot 303} = 22{,}5 \text{ г.}$$

Ответ: $m = 22{,}5$ г.

Задача 18. При температуре $t_1 = 0$ °С плотность ртути $\rho_1 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3. Найти ее плотность ρ_2 при температуре $t_2 = 300$ °С. Коэффициент объемного расширения ртути равен $\beta = 1{,}85 \cdot 10^{-4}$ К$^{-1}$.

Дано:

$t_1 = 0$ °С
$\rho_1 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3
$t_2 = 300$ °С
$\beta = 1{,}85 \cdot 10^{-4}$ К$^{-1}$

$\rho_2 - ?$

Анализ содержания задачи и решение

Запишем соотношения для плотности ртути при различных температурах

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad , \ (1) \qquad \rho_2 = \frac{m}{V_2} \quad . \ (2)$$

Поделив почленно, получим

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_2}{V_1} \quad . \qquad (3)$$

Объем ртути линейно зависит от изменения температуры

$$V_2 = V_1 (1 + \beta \Delta t) \quad . \ (4)$$

С учетом этого выражения имеем

$$\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{V_1 (1 + \beta \Delta t)}{V_1} \quad , \qquad \frac{\rho_1}{\rho_2} = 1 + \beta \Delta t \quad ,$$

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1 + \beta \Delta t} \quad . \ (5)$$

Произведем расчеты

$$\rho_2 = \frac{13{,}6 \cdot 10^3}{1 + 1{,}85 \cdot 10^{-4} \cdot 300} = 12{,}9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

Ответ: $\rho_2 = 12{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3.

Задача 19. Какую работу против сил поверхностного натяжения надо совершить, чтобы разделить сферическую каплю ртути радиусом R = 3 мм на две одинаковые капли ?

Дано:

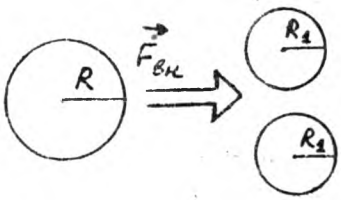
$R = 3 \cdot 10^{-3}$ м

$\sigma = 0{,}5$ Н/м

$A - ?$

Анализ содержания задачи и решение

Для разделения капли ртути радиусом R на две капли радиусом R_1 каждая необходимо совершить работу против сил поверхностного натяжения некоторой внешней силой $\vec{F}_{вн}$ (рис.).



При разделении капли ртути совершается работа по преодолению сил поверхностного натяжения

$$A = -A_{п.н.} \quad . \quad (1)$$

Следовательно, для нахождения работы внешней силы по разделению капли достаточно найти работу сил поверхностного натяжения $A_{п.н.}$.

Работа сил поверхностного натяжения равна

$$A_{п.н.} = \int_{S_1}^{S_2} \sigma \, dS \quad , \quad (2)$$

где S_1 и S_2 – площади поверхности неразделенной и разделенных капель ртути.

Эти площади равны соответственно

$$S_1 = 4\pi R^2 \quad , \quad (3) \qquad S_2 = 2 \cdot 4\pi R_1^2 \quad . \quad (4)$$

Следовательно,

$$A_{п.н.} = \sigma (S_2 - S_1) = 4\pi\sigma (2R_1^2 - R^2) \quad . \quad (5)$$

Определение радиуса двух образовавшихся капель произведем из учета равенства объемов капель до и после разделения.

Итак,

$$V_1 = 2V_2 \quad , \quad (6) \qquad V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3 \quad , \quad (7) \qquad V_2 = 2 \cdot \frac{4}{3}\pi R_1^3 \quad . \quad (8)$$

Отсюда

$$R^3 = 2R_1^3 \quad , \quad (9) \qquad R_1 = \frac{R}{\sqrt[3]{2}} \quad . \quad (10)$$

С учетом соотношения (10) выражение (5) приобретает следующий вид:

$$A_{п.н.} = 4\pi\sigma\left(2\left(\frac{R}{\sqrt[3]{2}}\right)^2 - R^2\right) = 4\pi\sigma R^2\left(\frac{1}{\sqrt[3]{4}} - 1\right). \quad (11)$$

Или

$$A = -4\pi\sigma R^2\left(\frac{1}{\sqrt[3]{4}} - 1\right) = 4\pi\sigma R^2\left(1 - \frac{1}{\sqrt[3]{4}}\right). \quad (12)$$

Проверим наименование $[A] = \frac{Н}{м} \cdot м^2 = Дж$.

Подставляя числовые значения, получим

$$A = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}5 \cdot 9 \cdot 10^{-6} \cdot \left(1 - \frac{1}{1{,}6}\right) = 6{,}28 \cdot 9 \cdot 0{,}37 \cdot 10^{-6} =$$

$= 14{,}7$ мкДж.

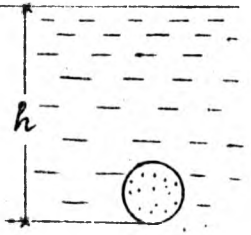
Ответ: $A = 14{,}7$ мкДж.

Задача 20. На какой глубине h под водой находится пузырек воздуха, если известно, что плотность воздуха в нем $\rho = 2$ кг/м^3? Диаметр пузырька $d = 15$ мкм, температура воды $t = 20\ ^\circ$C, атмосферное давление $p_0 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па.

Дано:

$\rho = 2$ кг/м^3
$M = 2{,}9 \cdot 10^{-2}$ кг/моль
$d = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$ м
$T = 293$ К
$p_0 = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па
$\rho_1 = 10^3$ кг/м^3
$\sigma = 7{,}3 \cdot 10^{-2}$ Н/м

$h - ?$



Анализ содержания задачи и решение

Пузырек воздуха диаметром d находится на некоторой глубине h под водой (рис.). Давление воздуха в пузырьке p складывается из атмосферного давления p_0, гидростатического давления p_1 и добавочного давления p_2, обусловленного кривизной поверхности пузырька. Итак,

$$p = p_0 + p_1 + p_2, \quad (1)$$

где

$$p_1 = \rho_1 g h \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{2\sigma}{R} = \frac{4\sigma}{d}. \quad (3)$$

Следовательно,

$$p = p_0 + \rho_1 g h + \frac{4\sigma}{d}. \quad (4)$$

Отсюда $\rho_1 g h = p - p_0 - \frac{4\sigma}{d}$, (5)

$$h = \frac{p - p_0}{\rho_1 g} - \frac{4\sigma}{\rho_1 g d} . \quad (6)$$

Давление воздуха p в пузырьке вычислим, воспользовавшись уравнением Менделеева-Клапейрона

$pV = \frac{m}{M} RT$, (7) $p = \frac{m}{MV} RT = \frac{\rho}{M} RT.$ (8)

Итак.

$$h = \frac{\rho RT - M p_0}{M \rho_1 g} - \frac{4\sigma}{\rho_1 g d} . \quad (9)$$

Проверим наименование

$$\left[\rho RT\right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Дж} \cdot \text{К}}{\text{м}^3 \cdot \text{моль} \cdot \text{К}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}} = \frac{\text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{моль}} ;$$

$$\left[M p_0\right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{Па}}{\text{моль}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{Н}}{\text{м}^2 \cdot \text{моль}} = \frac{\text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{м} \cdot \text{моль}} ;$$

$$\left[M \rho_1 g\right] = \frac{\text{кг} \cdot \text{кг} \cdot \text{м}}{\text{моль} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^2} = \frac{\text{кг}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль}} ;$$

$$\left[\frac{\rho RT - M p_0}{M \rho_1 g}\right] = \frac{\text{кг}^2 \cdot \text{моль} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{м} \cdot \text{моль} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{кг}^2} = \text{м} ;$$

$$\left[\frac{4\sigma}{\rho_1 g d}\right] = \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^3}{\text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{м} \cdot \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{с}^2 \cdot \text{кг}} = \text{м} ;$$

$\left[h\right] = \text{м}.$

Подставим числовые значения

$$h = \frac{2 \cdot 8{,}31 \cdot 293 - 2{,}9 \cdot 10^{-2} \cdot 1{,}01 \cdot 10^5}{2{,}9 \cdot 10^{-2} \cdot 10^3 \cdot 9{,}81} - \frac{4 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2}}{1{,}5 \cdot 10^{-5} \cdot 10^3 \cdot 9{,}81} =$$

$= 4{,}9$ м.

Ответ: $h = 4{,}9$ м.

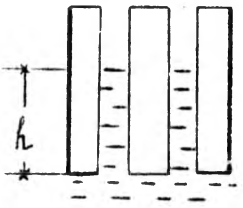
Задача 21. В стеклянную трубку с внутренним диаметром d_1 = 20 мм вставлена коаксиально стеклянная палочка диаметром d_2 = 19 мм. Считая смачивание полным, определить высоту h капиллярного поднятия воды в кольцевом зазоре между трубкой и палочкой.

Дано:

d_1 = 20 мм	$2 \cdot 10^{-2}$ м
d_2 = 19 мм	$1{,}9 \cdot 10^{-2}$ м
θ = 0^0	
σ = $7{,}3 \cdot 10^{-2}$ Н/м	
ρ = 10^3 кг/м^3	
h - ?	

Анализ содержания задачи и решение

Вода поднимается на некоторую высоту h между стеклянной трубкой и палочкой (рис.).



Высота подъема воды

$$h = \frac{4\sigma \cos\theta}{\rho g d}, \qquad (1)$$

где θ = 0^0, так как наблюдается полное смачивание.

Отсюда

$$h = \frac{4\sigma}{\rho g d}, \qquad (2)$$

где $d = d_1 - d_2$.

Итак,

$$h = \frac{4\sigma}{\rho g (d_1 - d_2)}. \qquad (3)$$

Проверим наименование h :

$$[h] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{с}^2}{\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} = \text{м}.$$

Подставим числовые значения

$$h = \frac{4 \cdot 7{,}3 \cdot 10^{-2}}{10^3 \cdot 9{,}81 \cdot 10^{-3}} = \frac{29{,}2 \cdot 10^{-2}}{9{,}81} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 3 \text{ см}.$$

Ответ: h = 3 см.

Задача 22. Капилляр внутренним диаметром d = 4 мм опущен в жидкость. Найти коэффициент поверхностного натяжения жидкости σ, если в капилляр поднялась жидкость массой m = 0,09 г.

Дано:

d = 4 мм	$4 \cdot 10^{-3}$ м
m = 0,09 г	$9 \cdot 10^{-5}$ кг
σ - ?	

Анализ содержания задачи и решение

Высота поднятия жидкости в капиллярной трубке равна

$$h = \frac{4\sigma}{\rho g d}, \qquad (1)$$

где ρ - плотность жидкости.

Выразим плотность жидкости ρ следующим образом:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{S \cdot h} = \frac{4m}{\pi d^2 h} . \qquad (2)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (I), имеем

$$h = \frac{4\sigma\pi d^2 h}{4 m g d} . \qquad (3)$$

Сократив обе части выражения (3) на высоту h, получим

$$mg = \pi\sigma d , \quad (4) \qquad \sigma = \frac{mg}{\pi d} . \qquad (5)$$

Проверим наименование и произведем вычисления

$$[\sigma] = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2\cdot\text{м}} = \text{Н/м} ; \qquad \sigma = \frac{9\cdot10^{-5}\cdot 9{,}81}{3{,}14\cdot 4\cdot 10^{-3}} = 0{,}07 \text{ Н/м}.$$

Ответ: $\sigma = 0{,}07$ Н/м.

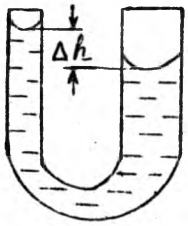
Задача 23. Разность уровней воды в U -образном капилляре с диаметрами каналов $d_1 = 1$ мм и $d_2 = 3$ мм равна $\Delta h = 2$ см (рис.). Считая смачивание полным, определить коэффициент поверхностного натяжения воды.

Дано:

$d_1 = 10^{-3}$ м
$d_2 = 3\cdot10^{-3}$ м
$\Delta h = 2\cdot10^{-2}$ м
$\theta = 0^0$

$\sigma - ?$

Анализ содержания задачи и решение



Высоты подъема воды в каналах U -образного капилляра равны

$$h_1 = \frac{4\sigma}{\rho g d_1} , \quad (1)$$

$$h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g d_2} . \quad (2)$$

Разность уровней воды в каналах капилляра равна

$$\Delta h = h_1 - h_2 = \frac{4\sigma}{\rho g}\left(\frac{1}{d_1} - \frac{1}{d_2}\right) = \frac{4\sigma(d_2 - d_1)}{\rho g d_1 d_2} . \qquad (3)$$

Отсюда

$$\sigma = \frac{\rho g d_1 d_2 \Delta h}{4(d_2 - d_1)} . \quad (4)$$

Проверим наименование и произведем вычисления

$$[\sigma] = \frac{\text{кг}\cdot\text{м}\cdot\text{м}\cdot\text{м}^2}{\text{м}^3\cdot\text{с}^2\cdot\text{м}} = \text{Н/м} ; \quad \sigma = \frac{10^3\cdot 9{,}81\cdot 2\cdot 10^{-2}\cdot 3\cdot 10^{-6}}{4\cdot 2\cdot 10^{-3}} =$$

$= 7{,}3\cdot10^{-2}$ Н/м.

Ответ: $\sigma = 7{,}3\cdot10^{-2}$ Н/м.

ЗАДАЧИ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

I.I. В сосуде объемом V содержится газ массы m при температуре t. Чему равно давление газа p? Данные варианта приведены в табл. I.

Таблица I

№ варианта	Газ	m, г	V, л	t, °С
I	H_2	I0	2	I7
2	O_2	I5	4	27
3	N_2	20	6	27
4	CO_2	25	6	37
5	He	30	8	37
6	CO	35	8	40
7	CH_4	40	3	I7
8	Ne	45	3	20
9	O_2	50	5	30
I0	воздух	55	5	47
II	H_2	60	7	47
I2	CO_2	65	7	50
I3	He	70	9	50
I4	CH_4	75	9	7
I5	N_2	80	I0	57

I.2. В сосуде объемом V содержится газ под давлением p. Масса газа m. Чему равна температура газа? Данные варианта приведены в табл. 2.

Таблица 2

№ варианта	Газ	m, г	V, л	p, кПа
I6	O_2	I0	3	I00
I7	воздух	I5	4	I50
I8	CO_2	20	5	200
I9	H_2	25	6	250
20	CO	30	7	300
2I	воздух	35	8	350
22	He	40	9	400
23	Ne	45	I0	450
24	CH_4	50	II	500
25	N_2	55	I2	550

2.I. Газ массой m в первоначальном состоянии имеет параметры: давление – p_1, объем – V_1, температура – T_1. С газом совершается один из изопроцессов, и параметры конечного состояния газа равны p_2, V_2, T_2. В табл. 3 заданы параметры газа, неизвестные величины обозначены "?"

Таблица 3

№ варианта	Газ	Изопроцесс	m, г	p_1, кПа	V_1, л	T_1, К	p_2, кПа	V_2, л	T_2, К
I	H_2	?	I0	300	?	300	300	?	I80
2	O_2	?	I5	200	?	400	I20	?	I20
3	CO	?	?	250	5	200	?	8	240
4	He	?	8	?	I0	300	360	?	300
5	воздух	?	?	300	6	200	I80	?	I20
6	CO_2	?	20	?	I5	300	?	I0	540
7	N_2	?	6	I50	?	200	I50	?	I20
8	Ne	?	?	200	8	300	300	4	?
9	H_2	?	I0	I00	?	250	?	5	350
I0	воздух	?	?	I50	7	450	300	2	?
II	O_2	?	6	300	I0	?	I50	?	I60
I2	CO	?	I2	I20	?	340	?	8	400
I3	He	?	?	240	I4	300	I60	7	?
I4	CO_2	?	7	?	I5	360	I20	3	?
I5	воздух	?	I0	I20	I8	?	?	I2	250
I6	N_2	?	2	?	5	240	I00	?	300
I7	H_2	?	5	?	20	300	I40	I0	?
I8	CH_4	?	?	I80	7	400	?	3	400
I9	CO	?	?	I20	5	?	I20	I0	320
20	He	?	?	I40	6	300	280	6	?
2I	воздух	?	I2	400	?	I50	200	?	I60
22	CO_2	?	3	I60	?	200	80	?	300
23	N_2	?	?	?	3	300	I20	6	300
24	O_2	?	I4	?	7	350	I40	7	?
25	CH_4	?	I0	200	6	?	360	?	240

3.I. Газ массой m имеет в первоначальном состоянии параметры p_1, V_1, T_1, а в конечном – p_2, V_2, T_2. Газу сообщили некоторое количество теплоты Q. Приращение внутренней энергии газа ΔU, совершенная газом работа A. В табл. 4 приведены данные величины, искомые величины обозначены "?"

Таблица 4

№	Газ	Процесс	m, г	p_1, кПа	V_1, л	T_1, К	p_2, кПа	V_2, л	T_2, К	$Q \cdot 10^{-3}$, Дж	$\Delta U \cdot 10^{-3}$, Дж	$A \cdot 10^{-3}$, Дж
I	H_2	p – const	I0	?	3	350	?	?	560	?	?	?
2	O_2		4	?	?	?	?	?	640	I3,4	?	?
3	CO		I2	?	6	400	?	I0	?	?	?	?
4	воздух		I0	?	4	?	?	3	?	-8,4	?	?
5	CO_2		6	?	I	?	?	I,5	?	2,9	?	?
6	He		I2	?	2,8	?	?	5,6	?	-2,8	?	?
7	Ne		I8	?	I,4	300	?	?	600	?	?	?
8	CH_4		8	?	7	250	?	0,5	?	?	?	?
9	N_2		5	?	5	300	?	?	360	?	?	?
I0	CO		9	?	6	400	?	?	480	?	?	?
II	O_2	V – const	I4	200	4	?	?	4	300	?	?	?
I2	воздух		7	300	?	300	?	?	?	I8,5	?	?
I3	CO_2		3	200	?	400	400	?	?	?	?	?
I4	N_2		?	I50	?	500	250	?	250	?	?	?
I5	He		I0	?	6	200	500	6	?	?	?	?
I6	O_2	T – const	8	I00	?	300	?	I0	?	?	?	?
I7	CO		I2	250	?	250	I00	?	?	?	?	?
I8	Ne		6	I00	I	300	?	?	300	?	?	?
I9	H_2		5	80	2	?	I20	?	?	?	?	?
20	воздух		8	200	8	?	?	4	?	?	?	?
2I	CH_4	Адиабатический	9	I00	I0	300	350	?	?	?	?	?
22	He		8	?	6	200	400	?	?	?	?	?
23	O_2		?	I50	4	300	300	?	?	?	?	?
24	N_2		6	200	8	500	400	?	?	?	?	?
25	CO_2		?	240	4	320	640	?	?	?	?	?

4.I. Первоначальное состояние идеального газа задано параметрами: p_1 – давление, V_1 – объем. В конечном состоянии газ имеет параметры: p_2 – давление, V_2 – объем. Определить внутреннюю энергию идеального газа в конечном состоянии, если в первоначальном он обладает энергией U_1 (рис. I). Искомые величины заданы в табл. "?"

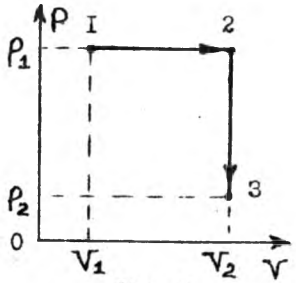


Рис. I

Таблица

№ варианта	p_1, кПа	V_1, л	p_2, кПа	V_2, л	U_1, Дж	U_2, Дж	U_3, Дж
I	2	3	0,5	6	600	?	?
2	4	6	2	I2	800	?	?
3	I,5	2	0,5	6	500	?	?
4	2,5	4	0,5	I2	300	?	?
5	6	6	3	I8	400	?	?
6	3,5	I,5	0,7	6	200	?	?

4.2. Первоначальное состояние идеального газа задано параметрами p_1, V_1. В конечном состоянии газ имеет параметры p_2, V_2. Чему равна внутренняя энергия идеального газа в конечном состоянии, если в первоначальном состоянии он имеет энергию U_1 (рис. 2). Искомая величина задана "?" Данные величины приведены в табл. 5.

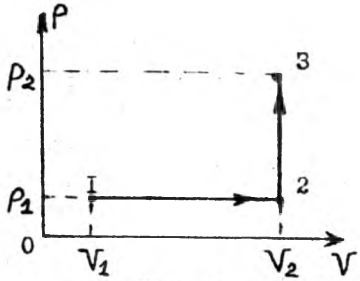


Рис. 2

Таблица 5

№ варианта	p_1, кПа	V_1, л	p_2, кПа	V_2, л	U_1, Дж	U_3, Дж
7	2	4	8	I2	200	?
8	I,5	5	6	I0	300	?
9	2,5	3,5	7,5	7	400	?
I0	4	6	I2	I8	200	?
II	I,7	6,2	5,I	I2,4	I00	?
I2	3	4	9	I6	300	?

4.3. Состояния идеального газа заданы параметрами p_1, V_1 и p_2, V_2 соответственно. Определить приращение внутренней энергии газа и совершенную им работу при переходе в конечное состояние. В начальном состоянии газ имеет внутреннюю энергию U_1 (рис. 3). Данные величины приведены в табл. 6, искомые величины обозначены "?"

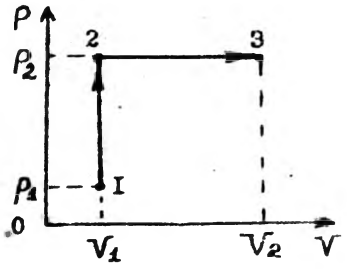


Рис. 3

Таблица 6

№ варианта	p_1, кПа	V_1, л	p_2, кПа	V_2, л	U_1, Дж	ΔU, Дж	A, Дж
I3	4	I,5	8	3	IC00	?	?
I4	2	2	8	6	2000	?	?
I5	2,5	2,5	7,5	I0	3000	?	?
I6	I,5	4,5	4,5	9	2000	?	?
I7	3	I,2	9	3,6	4000	?	?
I8	2,7	4,6	5,4	9,2	5000	?	?

4.4. Идеальный газ переходит из состояния I ⟶ 3. Параметры газа в первом состоянии p_1, V_1; в третьем – p_2, V_2. Внутренняя энергия в первоначальном состоянии равна U_1 (рис. 4). Найти приращение внутренней энергии газа и совершенную им работу. Данные величины приведены в табл. 7, искомые величины обозначены "?"

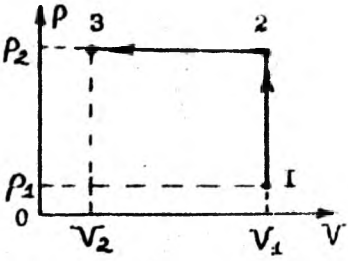


Рис. 4

Таблица 7

№ варианта	p_1, кПа	V_1, л	p_2, кПа	V_2, л	U_1, Дж	ΔU, Дж	A, Дж
I9	20	I6	40	8	2000	?	?
20	I0	8	20	4	I000	?	?
2I	5	I2	I5	3	3000	?	?
22	7	I8	I4	6	4000	?	?
23	3,5	4	I4	I	2500	?	?
24	3	I5	9	3	I500	?	?
25	2	I8	I0	9	3500	?	?

5.I. Газ массой m нагревается от температуры t_1 до t_2. Найти приращение энтропии. Данные величины приведены в табл. 8, неизвестная величина обозначена "?"

Таблица 8

№ варианта	Газ	Процесс	m, г	t_1, °С	t_2, °С	ΔS, Дж/К
I	H_2	p - const	I0	27	47	?
2	CO		I5	27	57	?
3	O_2		8	37	57	?
4	воздух		I2	47	87	?
5	CO_2		5	23	70	?
6	He		I6	I7	97	?
7	N_2		6	42	84	?
8	Ne		4	47	II7	?
9	CH_4		I0	45	I25	?
I0	CO		9	I27	I67	?
II	O_2		I2	I7	57	?
I2	воздух		8	II7	I87	?
I3	CO		I0	46	I66	?
I4	He	V - const	5	I5	85	?
I5	CO_2		I5	47	I67	?
I6	Ne		I7	57	I57	?
I7	O_2		20	67	I87	?
I8	CH_4		6	II7	227	?
I9	CO		7	I27	257	?
20	O_2		9	II7	I47	?
2I	H_2		I2	87	227	?
22	воздух		8	67	II7	?
23	CO_2		9	37	I77	?
24	CH_4		I0	47	I87	?
25	Ne		5	27	87	?

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

В методике преподавания физики большое внимание уделяется формированию обобщенной структуры деятельности в процессе обучения умению решать задачи. Одним из наиболее распространенных способов решения задач является алгоритмический. Под алгоритмом в философской литературе понимают систему "... правил (предписаний) для эффективного решения задач" (I6, с. I8). Остановимся подробнее на содержании и структуре обобщенного приема решения задач, выделенного в методической литературе (табл. 9).

Таблица 9

Основные этапы формирования обобщенного приема решения физических задач

Авторы	Содержание обобщенного приема решения задач
I	2
Горячкин Е.Н. I948	I. Чтение текста задачи преподавателем и разъяснение ее физического смысла 2. Краткая запись условия 3. Составление чертежа или рисунка к задаче 4. Составление хода решения задачи 5. Вычисления 6. "Физический" анализ результата
Александров Д.А., Швайченко И.М. I948	I. Чтение условия задачи 2. Объяснение непонятных терминов и восстановление в памяти соответствующих понятий 3. Предварительный анализ для выяснения ее физического смысла 4. Краткая запись условия 5. Установление системы единиц 6. Установление физических закономерностей и составление уравнений или построение чертежа 7. Нахождение численного значения величин, определяющих искомую величину, или получение общей формулы, или производство необходимых измерений на чертеже

Продолжение табл. 9

1	2
Соколов И.И. 1951	1. Внимательное чтение задачи и повторение ее содержания 2. Запись в условных обозначениях содержания задачи 3. Представление полной физической картины явления 4. Выполнение соответствующего чертежа 5. Выбор системы единиц, перевод данных задачи в систему и присоединение к данным задачи необходимых дополнительных данных 6. Выбор законов, которым подчиняются искомые и данные величины, и выражение законов формулами 7. Решение системы составленных уравнений в буквенном виде 8. Вычисление по окончательной формуле 9. Присоединение к найденному числу наименования единицы, в которой выражена искомая величина 10. Разбор возможных частных случаев задачи
Знаменский П.А. 1955	1. Чтение условия задачи 2. Объяснение непонятных терминов и восстановление в памяти соответствующих понятий 3. Анализ содержания задачи с целью выяснения ее физической сущности 4. Краткая запись условия 5. Выбор системы единиц 6. Установление всех физических закономерностей, с которыми связано решение 7. Решение задачи, там, где это диктуется существом дела, сопровождается рисунком, чертежом, схемой, графиком 8. Получение численного значения искомой величины 9. Анализ окончательного ответа

Продолжение табл. 9

I	2
Сосновский Е.И. 1966	I. Общее знакомство с содержанием задачи, в ходе которого проводится ее общеориентировочный анализ 2. Предварительный анализ физической картины, рассматриваемой в условии задачи. Выполнение рисунка 3. Сокращенная запись условия 4. Детальный анализ физической картины задачи, решение в общем виде 5. Проверка правильности решения в общем виде 6. Вычисление результатов 7. Анализ результатов решения задачи
Каменецкий С.Е., Орехов В.П. 1971	I. Чтение и изучение условия задачи 2. Краткая запись условия задачи 3. Повторение условия задачи 4. Выполнение чертежа, схемы, рисунка 5. Анализ условия задачи 6. Решение задачи в общем виде 7. Подстановка числовых значений с наименованиями в решение общего вида 8. Выполнение вычислений 9. Проверка и оценка ответа
Орехов В.П., Усова А.В. 1972	I. Чтение условия задачи 2. Краткая запись условия задачи 3. Повторение условия задачи 4. Выполнение чертежа, схемы, рисунка 5. Анализ условия 6. Решение задачи 7. Проверка и оценка ответа
Бугаев А.И. 1981	I. Чтение условия и выяснение смысла терминов и выражений 2. Краткая запись условия: выполнение соответствующего ему рисунка (чертежа, схемы, графика)

Окончание табл. 9

I	2
	3. Анализ содержания задачи с целью выяснения ее физической сущности и отчетливого представления рассматриваемого в условии явления или состояния тел, восстановление в памяти понятий и законов, которые нужны для решения
	4. Составление плана решения (проведения опыта), дополнение условия физическими константами и табличными данными ; анализ графических материалов
	5. Перевод значений физических величин в единицы СИ
	6. Нахождение закономерностей, связывающих искомые и данные величины, запись соответствующих формул
	7. Составление и решение системы уравнений в общем виде
	8. Вычисление искомой величины
	9. Анализ полученного результата
	10. Рассмотрение других возможных способов решения задачи ; выбор из них наиболее рационального

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО КИНЕМАТИКЕ

1. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи (краткая запись условия и требования).

3. Выявление сущности физического процесса, описанного в содержании задачи.

4. Выполнение схематического рисунка.

5. Запись необходимых уравнений в векторном виде.

6. Выбор соответствующей системы отсчета.

7. Проецирование векторных величин на координатные оси, запись уравнений в проекциях и модулях.

8. Решение полученной системы уравнений относительно искомой величины.

9. Проверка наименования искомой величины.

10. Вычисление искомой величины.

11. Анализ полученного результата и запись ответа.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ДИНАМИКЕ

I. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи (краткая запись условия и требования).

3. Выявление взаимодействующих тел.

4. Выполнение схематического рисунка (изображение действующих на каждое тело сил, показ направления ускорения).

5. Запись основного уравнения динамики (ОУД) материальной точки в векторном виде для каждого тела.

6. Выбор соответствующей системы отсчета.

7. Проецирование векторных величин и запись ОУД в проекциях и модулях.

8. Решение полученной системы уравнений (получение решения в общем виде для искомой величины).

9. Проверка наименования искомой величины.

I0. Вычисление искомой величины.

II. Анализ полученного результата и запись ответа.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

I. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи (краткая запись условия и требования).

3. Выявление системы взаимодействующих тел и выяснение характера действующих на тела системы сил.

4. Выполнение схематического рисунка (изображение действующих сил, показ направления векторов скорости движения тел до и после взаимодействия).

5. Запись закона сохранения импульса в векторном виде (если система тел незамкнутая, но выполняется одно из условий $\sum_{i=1}^{N} p_{ix} = const$, $\sum_{i=1}^{N} p_{iy} = const$, $\sum_{i=1}^{N} p_{iz} = const$, то следует записать закон сохранения импульса в проекциях на эту ось).

6. Выбор соответствующей системы отсчета.

7. Проецирование векторных величин и запись закона сохранения импульса в проекциях и модулях.

8. Решение полученной системы уравнений (получение решения в общем виде для искомой величины).

9. Проверка наименования искомой величины.

IC. Вычисление искомой величины.

II. Анализ полученного результата и запись ответа.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ НА ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

I. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи (краткая запись условия и требования).

3. Выбор двух или более таких состояний тел системы, чтобы в число их параметров входили известные и искомые величины.

4. Выявление системы взаимодействующих тел и выяснение характера действующих на тела системы сил.

Если на тела системы действуют только консервативные силы, то полная механическая энергия в замкнутой консервативной системе сохраняется постоянной $E = const$.

Если на тела системы действуют неконсервативные силы, то следует учесть, что приращение полной механической энергии равно работе внутренних неконсервативных сил

$$\Delta E = E_2 - E_1 = A_{неконс.сил}.$$

Если на тела системы действуют только внутренние консервативные силы, то работа этих сил равна убыли потенциальной энергии

$$A_{конс.сил} = -\Delta E_p.$$

5. Запись закона сохранения энергии для тел системы в различных состояниях.

6. Решение полученной системы уравнений относительно искомой величины.

7. Проверка наименования искомой величины.

8. Вычисление искомой величины.

9. Анализ полученного результата и запись ответа.

В приведенных алгоритмах решения задач по механике представлены самые существенные операции, необходимые для решения данного класса задач.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПО ЭЛЕКТРОСТАТИКЕ

I. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи (краткая запись условия и требования).

3. Выявление сущности физического процесса, описанного в содержании задачи.

4. Выполнение схематического рисунка (показ направлений действия сил, векторов напряженности).

5. Запись необходимых уравнений в векторном виде.

6. Выбор соответствующей системы отсчета.

7. Проецирование векторных величин на координатные оси, запись уравнений в проекциях и модулях.

8. Решение системы уравнений относительно искомой величины.

9. Проверка наименования искомой величины.

IO. Вычисление искомой величины.

II. Анализ полученного результата и запись ответа.

В алгоритмическом способе решения задач можно выделить основные структурные элементы деятельности. К их числу следует отнести такие:

I. Чтение содержания задачи, выделение в ней данных и искомых величин.

2. Кодирование содержания задачи.

3. Выявление сущности физического процесса, представленного в содержании задачи.

4. Выполнение схематического рисунка.

5. Запись основных законов и уравнений.

6. Получение решения в общем виде для искомой величины.

7. Проверка наименования величины.

8. Вычисление.

9. Анализ полученного результата, оценка его достоверности.

При решении задачи можно выделить основные действия. К ним относятся следующие:

I. Ознакомление с задачей.

2. Составление плана ее решения.

3. Осуществление решения задачи.

4. Анализ полученного результата.

СБОРНИКИ ЗАДАЧ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО КУРСУ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ФИЗИКИ

БАЛАШ В.А. ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ: ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ. – 3-е изд., перераб. и испр. – М.: Просвещение, 1974. – 430 с.

В пособии представлены задачи повышенной трудности по элементарному курсу физики, многие из которых предлагались на олимпиадах и вступительных экзаменах.

Перед каждым разделом курса физики даны краткие теоретические сведения, рассмотрены примеры решения задач и предложены задачи для самостоятельного решения с указанием ответов.

В пособии приведены справочные материалы.

Предназначено для преподавателей физики средних школ и ПТУ.

ГОЛЬДФАРБ Н.И. СБОРНИК ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – 5-е изд. – М.: Высш. шк., 1982. – 351 с.

Учебное пособие представляет собой сборник вопросов и задач по всем разделам программы вступительных экзаменов в вузы с повышенными требованиями по физике.

Основное внимание уделяется интересным и оригинальным задачам, которые предлагались на вступительных экзаменах в различных вузах технического и физического профилей.

В пособии приведены справочные материалы и ответы к задачам. К решению наиболее трудных задач даются методические указания и разъяснения.

Издание адресовано слушателям подготовительных отделений втузов, учащимся старших классов, лицам, готовящимся к вступительным экзаменам, а также преподавателям физики школ и вузов.

ВЕНДЕРЕВСКАЯ Н.Н., ЕГОРОВА С.П. СБОРНИК ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ-ИНОСТРАНЦЕВ, ОБУЧАЮЩИХСЯ НА ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ФАКУЛЬТЕТАХ ВУЗОВ. – 3-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 1989. – 224 с.

Сборник содержит задачи по механике, молекулярной физике и термодинамике, электромагнетизму, оптике и строению атома.

В начале каждого раздела даются краткие теоретические сведения с основными законами и формулами, рассматриваются примеры решения задач.

В приложении приведены таблицы физических величин, русско-английский словарь основных физических терминов.

Учебное пособие предназначено для студентов-иностранцев, может быть полезно учащимся старших классов средней школы и преподавателям физики школ и вузов.

ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ / Бендриков Г.А., Буховцев Б.Б., Керженцев В.В., Мякишев Г.Я. – 6-е изд., испр. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 400 с.

Пособие написано в соответствии с программой по физике для поступающих в вузы и втузы. К каждой теме даны краткие указания и основные формулы, используемые при решении задач.

Приведены подробные решения наиболее трудных задач.

Учебное пособие рассчитано на слушателей подготовительных отделений вузов, учащихся средних общеобразовательных школ, а также для лиц, занимающихся самообразованием.

Пособие окажет несомненную пользу преподавателям физики средних школ и ПТУ для более эффективной работы по обучению учащихся умению решать физические задачи.

ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ / А.А.Воробьев, П.И.Зубков, Г.А.Кутузова и др.; Под ред. О.Я.Савченко. – 2-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 416 с.

Особое внимание в пособии уделено тем задачам, которые в школе практически не решаются, но важны при обучении в высшем учебном заведении. Включено много оригинальных и интересных задач. Задачи снабжены ответами, наиболее трудные из них – решениями.

Пособие предназначено учащимся физико-математических школ, учащимся и преподавателям физики средних школ и техникумов, а также лицам, занимающимся самообразованием.

ЗУЕВ В.Г., ШАЛЫНОВ В.П. ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ. – 11-е изд.– М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 256 с.

В сборнике приведены задачи по курсу элементарной физики, а также задачи повышенной трудности.

Сборник содержит справочный материал и ответы к задачам.

Предназначен для учащихся средних школ, слушателей подготовительных отделений вузов и преподавателей физики.

КАШИНА С.И., СЕЗОНОВ Ю.И. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ОТДЕЛЕНИЙ ВУЗОВ. – М.: Высш. шк., 1983. – 207 с.

Пособие представляет собой систематический сборник вопросов и задач. По каждой теме задачи расположены в порядке возрастания степени трудности их решения. В пособие включены задачи повышенной сложности.

В сборник вошли известные, методически ценные, но разбросанные по разным изданиям задачи.

Приложение содержит сведения о табличных величинах.

Учебное пособие предназначено для подготовительных отделений вузов. Можно рекомендовать также преподавателям физики школ и ПТУ и учащимся для подготовки к вступительным экзаменам в вузы.

МЕЛЕДИН Г.В. ФИЗИКА В ЗАДАЧАХ: ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ С РЕШЕНИЯМИ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 272 с.

В пособии представлены оригинальные экзаменационные задачи. Особый интерес вызывают задачи-оценки и задачи-демонстрации.

Все предложенные задачи снабжены пояснениями по их решению.

Предназначено для выпускников школ и учащихся старших классов, учащихся физико-математических школ, преподавателей физики школ и высших учебных заведений.

САВЧЕНКО Н.Е. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: ПОСОБИЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ. – Минск: Вышэйш. шк., 1977. – 240 с.

Пособие содержит задачи в соответствии с программой по физике для поступающих в вузы и втузы. В пособии рассматриваются основные методы решения задач, приводится методика обучения их решению.

Рекомендуется учащимся выпускных классов средней школы, преподавателям физики школ и ПТУ. Окажет несомненную помощь лицам, занимающимся самообразованием.

СБОРНИК ЗАДАЧ И ВОПРОСОВ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ СРЕДНИХ СПЕЦИАЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ / Р.А.Гладкова, В.Е.Добронравов, Л.С.Жданов, Ф.С.Цодиков; Под ред. Р.А.Гладковой. – 7-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 384 с.

В учебном пособии приведены примеры решения задач и справочный материал в виде таблиц. Все задачи снабжены ответами.

Пособие содержит задачи по молекулярной физике и термодинамике, электродинамике, колебаниям и волнам, оптике и теории относительности, физике атома и атомного ядра.

Сборник задач предназначен для средних специальных учебных заведений. Может быть полезен преподавателям физики средних школ и учащимся старших классов.

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ФИЗИКЕ: ПОСОБИЕ ДЛЯ САМООБРАЗОВАНИЯ / Б.Б.Буховцев, Б.Д.Кривченков, Г.Я.Мякишев, И.М.Сараева. – 5-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 416 с.

Большое внимание уделено задачам повышенной сложности, решение которых требует глубокого знания материала. Все задачи снабжены решениями или краткими пояснениями.

Пособие адресовано учащимся и преподавателям школ, а также лицам, занимающимся самообразованием.

СЕЗОНОВ Ю.И. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРОФЕССИЙ ПТУ . – М.: Высш. шк., 1989.–143 с.

В сборник включены задачи, направленные на профессиональную ориентацию учащихся.

В сборнике приведен справочный материал и ответы к задачам.

Предназначен для учащихся и преподавателей ПТУ.

СЛОБОДЕЦКИЙ И.Ш., ОРЛОВ В.А. ВСЕСОЮЗНЫЕ ОЛИМПИАДЫ ПО ФИЗИКЕ: ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧАЩИХСЯ 8–10 КЛАССОВ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ. – М.: Просвещение, 1982. –256 с.

В книге приведены с подробными решениями задачи олимпиад.

Пособие рекомендуется учащимся, проявляющим повышенный интерес к физике. Окажет существенную помощь преподавателям физики в учебном процессе по физике.

РЫМКЕВИЧ А.П. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ 8–10 КЛАССОВ СРЕДНЕЙ ШКОЛЫ. – 12-е изд. – М.: Просвещение, 1988. – 191 с.

В книге содержатся задачи по всем разделам курса физики средней школы. Приведены справочные материалы и ответы ко всем задачам.

РЫБОВОЛОВ Г.И., ДАДАШЕВА Н.Р., САМОЙЛЕНКО П.И. СБОРНИК ДИДАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ТЕХНИКУМОВ / Под ред. П.И.Самойленко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. – 512 с.

Пособие составлено в соответствии с программой курса физики для средних специальных учебных заведений и предназначено для проверки знаний учащихся и самостоятельного совершенствования умения решать задачи.

ТАРАСОВ Л.В., ТАРАСОВА А.Н. ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ (АНАЛИЗ ХАРАКТЕРНЫХ ОШИБОК ПОСТУПАЮЩИХ ВО ВТУЗЫ): УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1975.–253 с.

В пособии в форме диалога между авторами и читателем дан анализ многих характерных ошибок, допускаемых поступающими на экзаменах. Проведен подробный анализ достаточно большого числа вопросов и задач по различным разделам программы.

Предложены задачи для самостоятельного решения.

Пособие адресовано учащимся старших классов, преподавателям физики школ, ПТУ и техникумов.

ШАСКОЛЬСКАЯ М.П., ЭЛЬЦИН И.А. СБОРНИК ИЗБРАННЫХ ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ РУКОВОДСТВО / Под ред. С.Э.Хайкина. – 5-е изд., перераб. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 208 с.

Содержание задач не выходит за рамки школьной программы по физике. Все задачи снабжены методическими указаниями и решениями. Понимание решений требует глубокого и продуманного освоения материала.

Рекомендуется учащимся средней и профессиональной школы.

Окажет несомненную помощь преподавателям физики для эффективной организации учебного процесса по физике.

СБОРНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ПО РАЗЛИЧНЫМ ВИДАМ ЗАДАЧ

АНТИПИН И.Г. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ В 6-7 КЛАССАХ: Пособие для учителей. - М.: Просвещение, 1974. - 127 с.

В пособии рассмотрено значение экспериментальных задач, дана их классификация. Наиболее сложные задачи приведены с решениями и краткими пояснениями, приведены ответы.

БУЗДИН А.И., ЗИЛЬБЕРМАН А.Р., КРОТОВ С.С. РАЗ ЗАДАЧА, ДВА ЗАДАЧА . . . - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 240 с. (Б-чка "Квант"; Вып. 8).

В сборник вошли около 250 оригинальных задач с решениями, предлагавшихся авторами на физических олимпиадах разных уровней - от школьного до международного. Решение многих задач требует сообразительности, умения по-новому взглянуть на известные явления.

Для школьников, интересующихся физикой, студентов, преподавателей и руководителей кружков.

ГОРШКОВСКИЙ В. ПОЛЬСКИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ОЛИМПИАДЫ: Пер. с польск./ Под ред. и с предисл. Е.Л.Суркова. - М.: Мир, 1982. - 256 с.

В сборнике представлены задачи олимпиад по физике в ПНР.

Предназначен для школьников и преподавателей, интересующихся физикой.

ЛАНГЕ В.Н., ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАДОКСЫ И СОФИЗМЫ: Пособие для учащихся. - 3-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1978. - 176 с.

Книга содержит различные по тематике и степени трудности занимательные задачи, парадоксы, софизмы по всем разделам курса физики. Все задачи имеют краткие решения.

Предназначено для учащихся и преподавателей средних школ, ПТУ и высших учебных заведений.

Окажет несомненную помощь в изучении физики лицам, занимающимся самообразованием.

ЛАНГЕ В.Н. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ НА СМЕКАЛКУ: Учебное руководство. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1985. – 128 с.

В книге приведены задачи, в которых предлагается придумать способ измерения величин, используя самые примитивные приборы.

Рекомендуется учащимся общеобразовательной и профессиональной школы, интересующимся физикой, учащимся физико-математических школ; может быть полезна преподавателям физики средних школ и техникумов.

ЛУКАШИК В.И. ФИЗИЧЕСКАЯ ОЛИМПИАДА В 6–7 КЛАССАХ: Пособие для учащихся. – М.: Просвещение, 1976. – 144 с.

Содержащийся в книге материал поможет учащимся расширить знания по физике и проверить их на решении задач.

Пособие адресовано учащимся школы; может быть полезно преподавателям физики.

МАЛИНИН А.Н. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В ЗАДАЧАХ И УПРАЖНЕНИЯХ: Книга для учителя. – М.: Просвещение, 1983. – 175 с.

В книге в форме решения задач и упражнений дается изложение основ СТО.

Книга предназначена преподавателям физики школ, ПТУ и высших учебных заведений.

НАЗАРОВ А.М. ВОПРОСЫ И ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ С ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ: Учебное пособие для СПТУ. – М.: Высш. шк., 1987. – 119 с.

Содержание задач отражает применение законов физики в современном производстве и имеет профессиональную направленность. Пособием могут пользоваться учащиеся ПТУ, приобретающие самые разные профессии: металлистов, электриков, строителей, рабочих химической промышленности.

Пособие окажет существенную помощь преподавателям физики ПТУ в процессе реализации профессиональной направленности учебных занятий по физике.

НИЗАМОВ И.М. ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ С ТЕХНИЧЕСКИМ СОДЕРЖАНИЕМ: Пособие для учащихся. - 2-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1980. - 96 с.

Пособие содержит физические задачи с техническим содержанием по всем разделам курса физики средней школы. Использование в учебном процессе по физике таких задач способствует ознакомлению учащихся с основами современной техники и технологии промышленного производства. Учащиеся глубже усваивают физические понятия, явления и закономерности, сознательно приобретают трудовые навыки в учебных мастерских.

В пособии даны задачи повышенной трудности. Ко всем задачам даны ответы, а некоторые из них снабжены решениями.

Книга может быть использована для внеучебной и профориентационной работы.

ТУЛЬЧИНСКИЙ М.Е. КАЧЕСТВЕННЫЕ ЗАДАЧИ ПО ФИЗИКЕ: Пособие для учителей. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Просвещение, 1972. - 240 с.

В пособии представлены качественные задачи по всем разделам элементарной физики.

Предназначено для учащихся школ и ПТУ, преподавателей физики.

УШАКОВ М.А. УПРАЖНЕНИЯ НА СОСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ: Дидактический материал: Пособие для учителя. - 2-е изд., перераб.- М.: Просвещение, 1985. - 64 с.

В книге дана система тренировочных заданий на составление электрических цепей.

Книга адресована учащимся и учителям средней школы.

ФУРСОВ В.К. ЗАДАЧИ-ВОПРОСЫ ПО ФИЗИКЕ: Пособие для учителей:- М.: Просвещение, 1977. - 64 с.

Задачи пособия предназначены для углубления и конкретизации знаний учащихся по физике.

Рекомендуется учащимся и преподавателям средних школ.

ДИДАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОГРАММИРОВАННЫЕ ЗАДАНИЯ

Байков Ф.Я. Проблемно-программированные задания по физике в средней школе: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1982. – 63 с.

Буров Б.А., Кабанов С.Ф., Свиридов В.И. Фронтальные экспериментальные задания по физике в 6–7 классах средней школы: Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1981. – 112 с.

Корж З.Д., Пеннер Д.И. Программированные задания по физике для 9 класса : Пособие для учителей. – М.: Просвещение, 1983. – 95 с.

Мартынов И.М., Хозяинова З.Н. Дидактический материал по физике: 8 класс. – М.: Просвещение, 1975.

Мартынов И.М., Хозяинова З.Н. Дидактический материал по физике: 9 класс. – М.: Просвещение, 1978.

Мартынов И.М., Хозяинова З.Н., Буров В.А. Дидактический материал по физике: 10 класс. – М.: Просвещение, 1980.

Скрелин Л.И. Дидактический материал по физике: 8 класс: Пособие для учителя. – 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1984. – 143 с.

Скрелин Л.И. Дидактический материал по физике: 7–8 класс: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1989. – 143 с.

Пеннер Д.И., Худайбердиев А. Программированные задания по физике для 6–7 классов средней школы: Дидактический материал: Пособие для учителя. – М.: Просвещение, 1985. – 144 с.

Фадеева А.А., Самойленко П.И. Физика: Дидактические материалы: Учеб. пособие для учащихся СПТУ и преподавателей. – М.: Высш. шк., 1988. – 128 с.

Чеботарева А.В. Самостоятельные работы учащихся по физике в 6–7 классах: Дидактический материал: Пособие для учителя.– 3-е изд., перераб. – М.: Просвещение, 1985. – 158 с.

В пособиях подобрана система заданий по всем темам курса элементарной физики. В системе заданий рассмотрены различные по степени трудности задачи и вопросы. Учебные пособия предназначены для учащихся средних школ, ПТУ и преподавателей физики.

СБОРНИКИ ЗАДАЧ ДЛЯ СТУДЕНТОВ И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

БАЛАШ В.А. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ ФАКУЛЬТЕТОВ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ ИНСТИТУТОВ. - М.: Просвещение, 1978. - 208 с.

В учебном пособии приведены задачи и ответы к ним. Содержание задач отражает программу курса общей физики. Большинство из включенных задач предлагалось на экзаменах, зачетах или контрольных работах в вузах страны. Элементарные задачи тренировочного характера в пособие не включены, однако идеи наиболее интересных школьных задач повышенной трудности в сборнике приведены.

Для решения задач предлагаемого сборника требуются тщательное изучение теоретического материала и умения пользоваться методами математики в физических расчетах.

Пособие адресовано студентам и преподавателям высшей школы.

ВОЛЬКЕНШТЕЙН В.С. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ОБЩЕМУ КУРСУ ФИЗИКИ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ ДЛЯ ВТУЗОВ. - 12-е изд., испр. / Под ред. И.В.Савельева. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 400 с.

Представляет собой систематический сборник задач и упражнений по курсу общей физики высших технических учебных заведений.

В начале каждого раздела приводятся краткие теоретические сведения, содержащие в себе основные понятия, законы и закономерности физики. Наиболее трудные задачи снабжены пояснениями и методическими указаниями по их решению.

В каждом разделе представлены легкие и сложные задачи. Сборник снабжен справочными материалами.

Рекомендуется для студентов и преподавателей втузов, но может успешно использоваться студентами и преподавателями других вузов.

ГОРБУНОВА О.И., ЗАЙЦЕВА А.М., КРАСНИКОВ С.Н. ЗАДАЧНИК-ПРАКТИКУМ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ. Электричество. Магнетизм: Учебное пособие для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов / Под ред Н.В.Александрова. – М.: Просвещение, 1975. – 160 с.

Пособие предназначено для проведения практических занятий по курсу общей физики, а также для самостоятельной работы студентов. Сборник разделен на параграфы, соответствующие темам курса физики. В начале каждого параграфа приведено небольшое теоретическое введение с указанием основных законов и формул. Далее следуют вопросы, которые необходимо изучить студентам по материалу учебника. Затем следуют примеры решения задач с подробным анализом.

Учебное пособие предназначено для студентов и преподавателей высшей школы.

ГОРБУНОВА О.И., ЗАЙЦЕВА А.М., КРАСНИКОВ С.Н. ЗАДАЧНИК-ПРАКТИКУМ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ. Оптика. Атомная физика: Учебное пособие для студентов физико-математических факультетов педагогических институтов / Под ред. Н.В.Александрова. – М.: Просвещение, 1977. – 112 с.

В пособии приведены краткие теоретические сведения, включающие в себя основные законы и формулы, которые необходимы для решения задач. Приведены примеры решения задач с подробным анализом.

Задачник-практикум рекомендуется студентам и преподавателям высших учебных заведений.

Содержание учебного пособия окажет существенную помощь студентам при подготовке к практическим занятиям и в самостоятельной работе.

Пособие может быть рекомендовано преподавателям физики техникумов и высших профессионально-технических училищ.

ИРОДОВ И.Е. ЗАДАЧИ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. - 2-е изд., перераб. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.- 416 с.

Содержит большое количество разнообразных и оригинальных задач. Краткие теоретические сведения и обширные справочные таблицы делают этот сборник полезным и удобным по данному курсу.

Ко всем задачам указаны ответы. Методические указания по решению задач не приведены.

Пособие адресовано студентам физических и инженерно-технических вузов.

КОЗЕЛ С.М., РАШБА Э.И., СЛАВАТИНСКИЙ С.А. СБОРНИК ЗАДАЧ ПО ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. - 304 с.

Сборник ориентирован на самостоятельную работу студентов. В пособии представлены задачи с глубоким физическим содержанием, приближенные к практике и возникающие из эксперимента. Многие задачи имеют оценочный характер и охватывают одновременно несколько разделов курса физики.

Физненные задачи, предложенные в сборнике, приближают студента к сложной картине реального научного поиска, и часто более глубокое исследование приводит к расширению представлений и дает возможность по-новому осмыслить проблему, поставленную вначале.

Содержание задач сборника способствует развитию у студентов ясности физического мышления и ощущения масштабов физических величин и явлений.

В задачах не указан ход решения, а только приведены краткие пояснения и окончательные ответы; наиболее трудные задачи имеют полное решение.

Сборник содержит небольшое количество задач, имеющих общефизический интерес.

Рекомендуется для студентов физических специальностей и преподавателей средней и высшей школы.

САВЕЛЬЕВ И.В. СБОРНИК ВОПРОСОВ И ЗАДАЧ ПО ОБЩЕЙ ФИЗИКЕ: УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ. - 2-е изд., перераб. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 288 с.

Сборник составлен применительно к трехтомному курсу общей физики и служит к нему дополнением. К небольшой части задач даны методические пояснения. Ко всем задачам приведены ответы.

В справочных материалах даны сведения из элементарной и высшей математики, необходимые при решении задач.

Предпочтение в сборнике имеют задачи из повседневной жизни, науки и техники.

Рекомендуется студентам высших технических учебных заведений; может быть полезен преподавателям средней и высшей школы.

СБОРНИК ЗАДАЧ ПО КУРСУ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ: Учебное пособие для студентов педагогических институтов по специальности 2105 "Физика" / Г.А.Загуста, Г.П.Макеева, А.С.Микулич и др.; Под ред. М.С.Цедрика. - М.: Просвещение, 1989. - 271 с.

Предлагаемый сборник содержит задачи по всем разделам курса общей физики. В начале каждого параграфа даны краткие теоретические сведения с указанием основных законов и формул, которые используются при решении задач.

В конце сборника приведены ответы ко всем задачам; наиболее сложные задачи снабжены краткими методическими пояснениями.

Пособие содержит справочные материалы физических величин, таблицы интегралов и значений показательной функции e^x.

Сборник адресован студентам и преподавателям педагогических институтов; может быть использован студентами и преподавателями других высших учебных заведений.

Окажет несомненную помощь преподавателям средней и профессиональной школы при подготовке к учебным занятиям по решению задач.

ФЕЙНМАН Р., ЛЕЙТОН Р., СЭНДС М. ФЕЙНМАНОВСКИЕ ЛЕКЦИИ ПО ФИЗИКЕ: ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ С ОТВЕТАМИ И РЕШЕНИЯМИ: Пер. с англ./ Под ред. А.П.Леванюка. – М.: Мир, 1969. – 624 с.

Эта книга для того читателя, который получает удовольствие от самого процесса обдумывания и решения задачи. В книге собраны задачи, которые предлагались студентам Калифорнийского технологического института (США).

Все задачи снабжены решениями. В предисловии к своим лекциям Р.Фейнман пишет: " . . . самым превосходным обучением является прямая, личная связь между учеником и хорошим учителем ... Невозможно многому научиться, просто отсиживая лекции или даже просто решая задачи. Но в наше время такое множество студентов должно быть обучено, что для идеалов приходится подыскивать эрзацы".

Адресована книга студентам и преподавателям высшей школы.

ЧЕРТОВ А.Г., ВОРОБЬЕВ А.А., ФЕДОРОВ М.Ф. ЗАДАЧНИК ПО ФИЗИКЕ С ПРИМЕРАМИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ И СПРАВОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ: Учебное пособие для втузов. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 1973. – 512 с.

В пособии приведены краткие теоретические сведения, необходимые для решения задач. Подробно разобраны примеры решения задач по всем разделам курса общей физики. К задачам, предназначенным для самостоятельного решения, приведены ответы.

Пособие снабжено необходимыми сведениями по приближенным вычислениям и единицам измерения физических величин.

В сборнике приведены справочные материалы.

Предназначено для студентов высших технических заведений. Может оказать существенную помощь студентам при подготовке к практическим занятиям и в самостоятельном решении задач.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОСОБИЯ ПО РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Александров Д.А., Швайченко И.М. Методика решения задач по физике в средней школе: Пособие для учителей. - Л.: Учпедгиз, 1948. - 240 с.

Бугаев А.И. Методика преподавания физики в средней школе: Теоретические основы. - М.: Просвещение, 1981. - 288 с.

Горячкин Е.Н. Методика преподавания физики в семилетней школе. Т. I. Общие вопросы методики физики: Пособие для учителей и руководство для студентов учительских институтов. - М.: Учпедгиз, 1948. - 496 с.

Гутман В.И., Мощанский В.Н. Алгоритмы решения задач по механике в средней школе: Книга для учителя. - М.: Просвещение, 1988. - 95 с.

Знаменский П.А. Методика преподавания физики в средней школе. - М.: Учпедгиз, 1955. - 551 с.

Кобушкин В.К. Методика решения задач по физике. - 2-е изд. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1972. - 247 с.

Каменецкий С.Е., Орехов В.П. Методика решения задач по физике в средней школе: Книга для учителя. - 3-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1987. - 336 с.

Методика преподавания физики в 7-8 классах средней школы: Пособие для учителя / Под ред. А.В.Усовой. - М.: Просвещение, 1990. - 319 с.

Очагов Ф.М. Решение задач по механике: Пособие для самообразования. - М.: Просвещение, 1965. - 240 с.

Очагов Ф.М. Решение задач по молекулярной физике: Пособие для учащихся. - М.: Просвещение, 1971. - 104 с.

Пойа Д. Как решать задачу: Пособие для учителей :Пер. с англ. / Под ред. Ю.М.Гайдука. - М.: Учпедгиз, 1961. - 207 с.

Соколов Н.И. Методика преподавания физики в средней школе. - М.: Учпедгиз, 1951. - 590 с.

Сперанский Н.А. Как решать задачи по физике. - М.: Высш. шк., 1967. - 358 с.

Тулькибаева Н.Н., Усова А.В. Методика обучения учащихся умению решать задачи /Челяб. гос. пед. ин-т. - Челябинск, 1981. - 86 с.

Турышев И.К., Серяков А.А. Некоторые вопросы методики решения задач по механике в УШ классе /Владимир. гос. пед. ин-т. - Владимир, 1973. - 76 с.

Усова А.В., Тулькибаева Н.Н. Практикум по решению физических задач: Учебное пособие к спецкурсу /Челяб. гос. пед. ин-т. - Челябинск, 1985. - 92 с.

Черкасов В.А. Дидактические основы построения упражнений: Учебное пособие / Челяб. гос. пед. ин-т. - Челябинск, 1978. - 90 с.

Янцен В.Н. Межпредметные связи в вопросах и задачах по физике: Учебное пособие для студентов и преподавателей физико-математических факультетов педагогических институтов / Куйбышев. гос. пед. ин-т. - Куйбышев, 1979. - 50 с.

СПРАВОЧНАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО КУРСУ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ И ОБЩЕЙ ФИЗИКИ

БРЮХАНОВ А.В., ПУСТОВАЛОВ Г.Е., РЫДНИК В.И. ТОЛКОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ: ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ: ОКОЛО 3600 ТЕРМИНОВ.- 2-е изд., испр. - М.: Рус. яз., 1988. - 232 с.

Словарь является справочным пособием по терминологии в области физики. Даются краткие определения терминов.

Предназначен для широкого круга читателей: преподавателей, студентов, инженеров, учащихся средней и профессиональной школы. Полезен иностранным специалистам, работающим с русской литературой по физике.

БОЛСУН А.И., ВОЛЬШТЕЙН С.Л. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ШКОЛЕ: Книга для учителя. - Минск: Нар. асвета, 1983. - 95 с.

В книге рассмотрены физические величины, системы единиц измерения и системы единиц. Даются рекомендации по введению единиц СИ на протяжении школьного курса физики.

Адресуется преподавателям физики.

ЕНОХОВИЧ А.С. СПРАВОЧНИК ПО ФИЗИКЕ И ТЕХНИКЕ: Пособие для учащихся. - М.: Просвещение, 1976. - 175 с.

В справочнике приведены значения основных физических постоянных, физических величин в различных областях науки и техники, в окружающей жизни, в природе, а также данные, характеризующие научные и технические достижения.

Рекомендуется учащимся и преподавателям средней и профессиональной школы.

ЕНОХОВИЧ А.С. КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК ПО ФИЗИКЕ. -2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высш. шк., 1976. - 288 с.

Справочник составлен в соответствии с программой по физике для средних учебных заведений. Приведены краткие сведения из математики, химии, астрономии.

Предназначается учащимся техникумов.

КОШКИН Н.И., ШИРКЕВИЧ М.Г. СПРАВОЧНИК ПО ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ФИЗИКЕ. - 10-е изд., испр. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 256 с.

Справочник охватывает все разделы курса элементарной физики. В нем даны определения основных физических понятий, кратко сформулированы физические законы. Приведены справочные материалы и графики.

Адресуется учащимся школ, техникумов, ПТУ и вузов; а также преподавателям физики.

КУХЛИНГ Х. СПРАВОЧНИК ПО ФИЗИКЕ: Пер. с нем. / Под ред. Е.М.Лейкина. - М.: Мир, 1983. - 520 с.

Справочник охватывает все разделы современной физики, содержит определения физических величин, формулировки основных законов. В книге представлен наглядный материал и справочные таблицы.

Рекомендуется студентам и преподавателям вузов и втузов.

СЕНА Л.А. ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ИХ РАЗМЕРНОСТИ: Учебно-справочное руководство. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 432 с.

Изложены принципы построения системы единиц и теории размерностей. Особое внимание уделено методам перевода единиц из одной системы в другую.

Предназначено для студентов вузов, аспирантов и преподавателей средней и высшей школы.

ФИЗИЧЕСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: В 5 т. / Под ред. А.М.Прохорова. - М.: Сов. энциклопедия, 1988.

Фундаментальное научно-справочное издание по всем разделам классической и квантовой физики и пограничных с физикой областей: астрофизики, биофизики, физической химии, электроники и прикладной математики.

ЧЕРТОВ А.Г. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ: (ТЕРМИНОЛОГИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, РАЗМЕРНОСТИ, ЕДИНИЦЫ): Справочное пособие. - М.: Высш. шк., 1990. - 335 с.

В пособии рассмотрены физические величины по всем разделам курса физики. При этом применена современная терминология, обозначения и определения. Приведены соотношения внесистемных единиц физических величин с единицами СИ.

Рассмотрены понятия о погрешностях измерения физических величин. Приведены современные значения фундаментальных физических постоянных.

Рекомендуется учащимся школ, ПТУ, техникумов, студентам и преподавателям вузов.

Справочное пособие является единственным, в котором для всех физических величин использованы только стандартизованные или рекомендованные соответствующими компетентными организациями (Международной организацией по стандартизации, Международной электротехнической комиссией, Постоянной комиссией по стандартизации СЭВ, Государственным комитетом РФ по стандартизации и др.) термины, обозначения и определения величин.

ЯВОРСКИЙ Б.М., СЕЛЕЗНЕВ Ю.А. СПРАВОЧНОЕ РУКОВОДСТВО ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ В ВУЗЫ И ДЛЯ САМООБРАЗОВАНИЯ. - 4-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 576 с.

В руководстве рассмотрены важнейшие вопросы классической и современной физики. Включен дополнительный материал для лиц, занимающихся самообразованием.

Адресовано учащимся старших и выпускных классов средней школы, учащимся ПТУ и техникумов; полезно преподавателям физики школ и ПТУ.

ЯВОРСКИЙ Б.М., ДЕТЛАФ А.А. СПРАВОЧНИК ПО ФИЗИКЕ. - 3-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. - 624 с.

Справочник охватывает все разделы курса общей физики высших технических учебных заведений. Даны определения понятий, кратко сформулированы физические законы и закономерности, приведены необходимые разъяснения.

В кратком дополнении приведены единицы физических величин и системы единиц. Помещен материал о погрешностях при измерении физических величин.

Справочник рассчитан на студентов высших технических учебных заведений. Окажет пользу инженерно-техническим работникам и преподавателям средней и высшей школы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабанский Ю.К. Избранные педагогические труды/Сост. М.К.Бабанский. - М.: Педагогика, 1989. - 560 с.

2. Вербилин М.И. Об определении и классификации методов обучения // Сов. педагогика. - 1957. - № 8. - С. 77-85.

3. Голант Е.Я. Методы обучения в советской школе. - М.: Учпедгиз, 1957. - 151 с.

4. Давыдов В.В. Периодизация психического развития детей // Возрастная и педагогическая психология: Учеб. пособие. - М., 1975. - Ч. I. - С. 41-45.

5. Данилов М.А. К вопросу о методах обучения в советской школе // Сов. педагогика. - 1956. - № 10. - С. 87-101.

6. Дидактика средней школы / Под ред. М.А.Данилова и М.Н.Скаткина. - М.: Просвещение, 1975. - 303 с.

7. Каменецкий С.Е., Орехов В.П. Методика решения задач по физике в средней школе: Кн. для учителя. - 3-е изд., перераб. - М.: Просвещение, 1987. - 336 с.

8. Кондаков Н.И. Логический словарь. - М.: Наука, 1971.- 656 с.

9. Краткий русско-английский и англо-русский словарь по педагогике и образованию/ Под ред. М.А.Галагузовой, И.А.Гиниатуллина, Д.М.Комского ; Урал. гос. пед. ин-т. - Екатеринбург, 1993. - 90 с.

10. Лернер И.Я.Дидактические основы методов обучения. - М.: Педагогика, 1981. - 186 с.

11. Махмутов М.И. Проблемное обучение. - М.: Просвещение, 1975. - 367 с.

12. Онищук В.А. Дидактика современной школы: Пособие для учителей. - Киев: Рад. шк., 1987. - 351 с.

13. Педагогика школы: Учебное пособие для пед. ин-тов / Под ред. И.Т.Огородникова. - М.: Просвещение, 1978. - 320 с.

14. Педагогика: Курс лекций / Под ред. Г.Н.Шукиной. - М.: Просвещение, 1966. - 648 с.

15. Педагогика: Курс лекций. Учеб. пособие для студентов пед. ин-тов / Т.А.Ильина. - М.: Просвещение, 1984. - 496 с.

16. Философский энциклопедический словарь. - М.: Сов. энциклопедия, 1983. - 840 с.

17. Фридман Л.М., Турецкий Е.Н. Как научиться решать задачи. - М.: Просвещение, 1989. - 192 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

	стр.
Введение	3
Сущность и классификация методов обучения	4
Структура учебной задачи	8
Этапы решения задач	I0
Классификация учебных задач по физике	I2
Принципы построения дидактической системы учебных задач	I3
Основные понятия и законы молекулярной физики	I5
Основные константы	I7
Алгоритм решения задач на газовые законы	I7
Примеры решения задач по молекулярной физике	I7
Основные понятия и законы термодинамики	27
Примеры решения задач по термодинамике	28
Реальные газы. Насыщенные пары и жидкости	38
Задачи для самостоятельного решения	47
Алгоритмы решения физических задач	53
Алгоритм решения задач по кинематике	56
Алгоритм решения задач по динамике	57
Алгоритм решения задач на закон сохранения импульса	57
Алгоритм решения задач на закон сохранения механической энергии	58
Алгоритм решения задач по электростатике	59
Сборники задач и учебные пособия по курсу элементарной физики	60
Сборники и учебные пособия по различным видам задач	66
Дидактические материалы и программированные задания	69
Сборники задач для студентов и преподавателей высших учебных заведений	70
Методические пособия по решению задач	75
Справочная литература по курсу элементарной и общей физики	76
Литература	80

решать задачи по физике (на примере молекулярной физики и термодинамики)

Редактор С.И.Калинкина

Лицензия ЛР № 040328

Подписано в печать 20.10.94. Формат 60x84/16. Бумага для множ. аппаратов. Печать плоская. Усл. печ. л. 4,77. Уч.-изд. л. 5,34. Тираж 300 экз. Заказ 1314

Издательство государственного профессионально-педагогического университета.

620012, Екатеринбург, ул. Машиностроителей, 11.

Цех № 4 АООТ "Полиграфист". Екатеринбург, ул. Тургенева, 20.