


**Частное образовательное учреждение высшего образования
«Русско-Британский Институт Управления»
(ЧОУВО РБИУ)
Общеобразовательная школа «7 ключей»**

Ворошилова ул., д. 12, Челябинск, 454014. Тел. (351) 216-10-10, факс 216-10-30. E-mail: info@rbiu.ru, school7keys@rbiu.ru

СОГЛАСОВАНО:

Заместитель директора по УВР

 О.С. Васильева
«28» августа 2017 г.



Н.А. Попова

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
К ЭЛЕКТИВНОМУ КУРСУ
«ПРАКТИКУМ ПО РЕШЕНИЮ ФИЗИЧЕСКИХ ЗАДАЧ»**

СРЕДНЕГО ОБЩЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ «ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ»
10-11 КЛАССЫ

Разработал: Грабович Вадим Борисович, учитель физики

Принято
на заседании Педагогического совета
Общеобразовательной школы «7 ключей»
Протокол № 1 от 28.08.2017

Рассмотрено
на заседании Методического объединения
учителей естественно-математических дисциплин
Протокол № 1 от 25.08.2017

Челябинск, 2017 г.

I. Пояснительная записка к методическим материалам

Цель работы – обобщить знания по решению различных типов задач по физике

Предлагаемая работа может быть полезна учащимся старших 10-11-х классов при овладении методикой решения задач по физике при подготовке к урокам по **элективному курсу «Практикум по решению физических задач»**. Методическое пособие способно помочь в освоении пропущенных тем углублённого курса физики.

В помощь старшеклассникам предлагается разбор типовых задач по кинематике, динамике, статике, законам сохранения энергии и импульса, молекулярной физике, геометрической оптике и некоторым другим темам курса физики 10-11 классов с алгоритмами решения и оформлением решения задач.

Для решения физических задач необходимо очень хорошо понимать характер протекания физических явлений (процессов), а также физический смысл величин, входящих в уравнения, описывающие физические закономерности.

II. Перечень методических материалов по предмету

1. Методические рекомендации по классификации физических задач
2. Методические рекомендации по решению задач по основам молекулярной физики и термодинамики.

III. Характеристика методических материалов

Методика решения учебных задач по физике

http://studbooks.net/1276147/pedagogika/klassifikatsiya_zadach_fizike

1. Классификация учебных задач по физике

В методике обучения физике **процесс решения учебной задачи** рассматривается как выбор стратегии решения, ее логики и структуры, определение общих и частных правил, которые можно применить для решения задачи. Под стратегией понимают исчерпывающий план действий, который складывается в процессе формирования замысла решения конкретной задачи.

Обычно **стратегия решения физической задачи состоит из следующих этапов:**

- предварительного - изучение условия задачи и его анализа;
- планирующего - формирование замысла и принятие плана решения;
- реализующего - осуществление решения задачи;
- проверки и анализа выполненного решения.

С точки зрения использования средств решения задачи эти этапы в некоторых случаях называют так:

физический этап - анализ задачи, поиск решения, составление замкнутой системы уравнений;

математический этап - решение задачи в общем виде и числовые расчеты;

этап анализа решения и исследование результатов.

Для выявления функций, роли и места задач в процессе обучения, уровня усвоения учебного материала, развития познавательных способностей и творческих возможностей учащихся, задачи по физике классифицируют по различным признакам. Выбор этих признаков зависит от целей классификации задач. Так если необходимо выявить общие подходы к решению задач определенного типа или составить алгоритм их решения, то задачи классифицируют по способам решения. Основаниями для классификации физических задач могут выступать особенности формулировки условия задачи, характер ее содержания, методы решения, дидактическая роль задач в учебном процессе, средства решения, степень сложности, характер требований задачи и др.

Достаточно удобной для учебных целей является классификация физических задач по следующим признакам, которые выделил В. А. Яковенко:

по характеру требований:

- на нахождение искомого;
- на доказательство;
- на конструирование;

по содержанию и степени обобщенности:

- простые и комбинированные;
- конкретные, абстрактные, ситуативные, метазадачи;
- с техническим, графическим, экспериментальным, практическим, краеведческим, историческим, бытовым, межпредметным, занимательным содержанием;

по характеру формулировки:

- текстовые,
- на основе рисунков, схем, фотографий, таблиц, графиков, опытов;
- качественные, количественные, графические, экспериментальные;
- с необходимыми, недостающими, избыточными данными;

по способу решения:

математические и экспериментальные;
с одним или несколькими решениями;

по дидактическим целям:

тренировочные (типовые, стандартные (на применение знаний в знакомых ситуациях));

познавательные (на применение знаний и умений в новых взаимосвязях);

творческие (исследовательские, конструкторские (на применение знаний в новых ситуациях)).

В зависимости от способа классификации одни и те же задачи могут быть отнесены к различным группам. В связи с этим любая классификация задач является неполной и не до конца последовательной. Однако в методических целях классификацию задач применять полезно. Так, чтобы эффективно формировать навыки применения знаний на практике, нужно выбрать правильное сочетание задач по физике с конкретным и абстрактным содержанием. Задачи с абстрактным содержанием формулируются таким образом, что несущественные связи и признаки объектов, явлений и процессов, о которых говорится в условии, отброшены, произведено отвлечение от конкретной предметной действительности, то есть абстрагирование. Поэтому такие задачи представляют собой некоторую абстракцию реальной практической ситуации.

Примером такой задачи является следующая задача: «Определить, чему равен коэффициент трения, если предмет начал двигаться равномерно по наклонной плоскости при угле наклона α ».

Достоинство абстрактных задач состоит в том, что в них легко выявляются существенные связи и физическая сущность явлений, выяснению которых не мешают второстепенные детали. Это облегчает проведение анализа и решение задач, но, если таким задачам отдается постоянное предпочтение, то это затрудняет формирование навыков применения физических знаний на практике. Чтобы сформировать такие навыки, в процессе обучения физике необходимо использовать также задачи с конкретным содержанием, описывающие реальные практические и жизненные ситуации, например:

«Ручной тормоз автомобиля считается исправным, если автомобиль удерживается тормозом на дороге с уклоном 120. Для дорог, с каким коэффициентом трения рассчитано это правило?»

Конкретные задачи обычно содержат числовые значения физических величин, единицы их измерения, а также требование, предполагающее получение определенного (численного) результата. При анализе таких задач учащимся необходимо самостоятельно осуществить процессы абстрагирования с целью выявления существенных связей и физической сущности явлений. Во многих случаях это вызывает значительные трудности, но способствует формированию умений применять знания по физике на практике.

В зависимости от степени обобщенности выделяют также ситуативные и метазадачи. **Ситуативные задачи** представляют собой описание некоторой физической ситуации, на основе которой требуется составить абстрактные (или конкретные) задачи с различными

искомыми величинами, содержащимися в описании данной ситуации. Например:

«Провод с удельным сопротивлением ρ имеет длину l и диаметр d . При напряжении U между концами провода сила тока в нем I . Сопротивление провода R . Составить абстрактные задачи с двумя неизвестными на основе описания этой ситуации». Таким образом, в ситуативных задачах перечисляются лишь объекты, явления и физические величины с их буквенными обозначениями. В них отсутствует вопрос или требование определить какую либо конкретную физическую величину. Любая величина ситуативной задачи может выступать в роли искомой.

Метазадачи - это задачи, требующие описания ситуации задачи или составления ситуативной задачи по определенной теме курса физики. Например: «Составить ситуативную задачу на закон Ома для замкнутой цепи и работу электрического тока».

Анализ предложенной классификации позволяет также сделать вывод о том, что различные типы задач имеют различное значение и меру использования в процессе обучения физике. Так, задачи на нахождение искомого (то есть определение значения физических величин) достаточно полно представлены во всех сборниках и занимают доминирующее положение в учебном процессе (около 80%). Другие типы задач (например, на конструирование, на доказательство; с историческим, межпредметным и «занимательным» содержанием) представлены в учебном процессе недостаточно, хотя необходимость их использования не вызывает сомнений. Менее всего разработаны и внедрены в учебный процесс задачи с межпредметным содержанием, то есть задачи, условие, содержание и процесс решения которых интегрирует в себе структурные элементы знаний, изучаемых в смежных учебных предметах.

Задачи с межпредметным содержанием являются одной из форм межпредметных связей. Для их составления, анализа и решения необходимо знание различных учебных предметов (математики, химии, астрономии, биологии и др.). Межпредметное содержание обычно задается в их условии или выявляется при решении. Соотношение основного и смежного предметов в содержании задач может быть различным. Задача по физике может содержать параметры (термины, символы и т. д.) из смежного предмета, которые в решении непосредственно не используются, например: «Длина наружного слухового канала уха человека (следовательно, и длина резонирующего в нем столба воздуха) составляет 2,7 см. При какой частоте звука слышимость будет наилучшей?»

В условии задачи может включаться материал смежного предмета в неявном виде, но без его использования решение задачи невозможно, например: «Указать, какие из следующих примесей: фосфор, алюминий, мышьяк, сурьма, галлий, бор, кремний, углерод - придают германиевому полупроводнику электронную, а какие - дырочную проводимость».

Содержание задачи может включать материал смежного предмета, необходимого для ее решения, в явном виде, например: «Сравнить время покрытия детали слоем цинка и серебра одинаковой массы при одной и той же силе тока в гальванической ванне».

Задачи с межпредметным содержанием применяются на всех этапах усвоения учебного материала по физике, а также при его повторении и систематизации. Использование таких задач в учебном процессе позволяет сообщить учащимся более глубокие знания по смежным предметам, создать у них системные представления о многих явлениях природы, показать единство законов природы, подготовить к целостному восприятию научной картины мира.

При классификации по содержанию выделяют также задачи с техническим, графическим, экспериментальным, практическим, историческим, краеведческим, бытовым и др. содержанием.

К задачам с техническим содержанием относятся задачи, в которых сообщаются сведения о промышленном и сельскохозяйственном производстве, транспорте, связи и др. Они должны быть логически связаны с учебным материалом по физике и содержать сведения о технических объектах и явлениях, имеющих широкое применение в народном хозяйстве. Особенно ценны задачи, в которых производятся распространенные в технике расчеты (расчет электрической цепи, определение расходов электроэнергии и т. д.). Например: «Расчитать сечение алюминиевого провода линии электропередачи от станции к предприятию, если длина линии l , передаваемая мощность S , напряжение, под которым передается энергия, U . Потери мощности S_1 ».

Задачи с техническим содержанием должны не только по содержанию, но и по форме возможно ближе подходить к производственным условиям (содержать реальные данные, предполагать использование паспортных данных машин и установок, сведений из справочной литературы, чертежей, схем и т. д.). Например: «Рассчитать стоимость электроэнергии, потребляемой вашей стиральной машиной за 1,5 ч». Применение таких задач в учебном процессе способствует политехнической подготовке учащихся, повышает их интерес к физике, знакомит с достижениями и перспективами развития современной техники.

Задачи с историческим содержанием содержат сведения исторического характера о физических опытах, открытиях, изобретениях, методах определения физических величин и т. п. Они позволяют ввести элементы истории физики и техники в курс физики средней школы. Например: «В электрических лампах, созданных А.Н. Лодыгиным (1872 г.), нагревался угольный стержень. Рассчитать мощность шестивольтной лампочки Лодыгина, если угольный стержень имел длину 6 см и диаметр 2 мм».

С помощью задач по физике исторического содержания можно показать те огромные изменения, которые произошли в науке и технике. Например: «Первый в мире электроход Б.С. Якоби имел мощность двигателя 180 Вт. Судно прошло по Неве (13 сентября 1838 г.) 7 км за 3 ч. Какую работу совершил двигатель и чему равна его сила тяги?» Для сравнения надо сообщить учащимся сведения об аналогичных современных машинах и установках.

Решение задач по физике исторического характера способствует развитию любознательности, углубленному и осмысленному усвоению курса физики, патриотическому воспитанию учащихся.

С целью формирования у учащихся практических умений и навыков в учебном процессе по физике применяются **задачи с практическим содержанием** (их обычно называют практическими заданиями). Такие задания предусматривают подтверждение или проверку физических закономерностей, применение знаний на практике, наблюдение за протеканием физических процессов и т. д. В качестве примера приведем следующие задания:

Определите толщину листа книги.

Сделайте из цветного пластилина модели двух молекул воды. Затем из этих молекул составьте модели молекул кислорода и водорода.

Определите, какое давление вы произведете при ходьбе и стоя на месте.

Такие задания предлагаются учащимся чаще всего в качестве домашних наблюдений, расчетов.

По характеру формулировки условия физические задачи делятся на **текстовые, экспериментальные и графические**.

Наибольшее применение в учебном процессе получили **текстовые задачи**. Это такие задачи, условие которых выражено словесно, в виде текста, и содержит все необходимые данные, кроме физических констант. Текстовые задачи могут формулироваться с опорой на рисунок, чертеж, схему, фотографию, таблицу и др.

Однако условие задачи в виде текста оказывается неудобным для образного представления задачи. Поэтому процесс восприятия задачи сопровождается перекодированием ее условия. Первой формой перекодирования является переход от задачи в виде текста к краткой записи ее условия в виде буквенных и знаковых обозначений, выполнения рисунков, схем электрических цепей и др. Возможно и дальнейшее перекодирование, например, использование для кодирования диаграмм сил (выделение взаимодействующих тел и изображение мер этих взаимодействий с помощью векторов сил), аналитической формы записи условия задачи и др.

Важным фактором, определяющим мыслительную деятельность учащихся при решении текстовых задач, являются характер и особенности параметров условия, их компонентный состав. Задачи по физике характеризуются следующими параметрами: заданными и открытыми; постоянными и переменными; поясняющими и ограничивающими.

Заданные параметры обычно характеризуют начальное и конечное состояния системы, о которой говорится в задаче.

Ограничивающие параметры позволяют определить условия применимости физических законов, принципов, правил в конкретных ситуациях. Так, некоторые законы и положения, справедливые в земных условиях, неприменимы в состоянии невесомости (расчет давления жидкости на дно и стенки сосуда; возникновение выталкивающей силы; явление

конвекции).

Поясняющие параметры обычно указывают на те упрощения, которые следует сделать для решения задачи (сопротивление воздуха не учитывать; массой блока пренебречь; гравитационное поле Земли считать однородным и т. п.).

Выявление и учет параметров (и других компонентов задачи) является начальным этапом применения метода моделирования, на основе которого решаются физические задачи. Сущность этого метода заключается в том, что для исследования задачной ситуации создается ее модель, которая заменяет оригинал и служит предметом изучения. С этой целью объекты, явления, процессы и др., представленные в задаче, заменяются их идеализированными моделями (материальная точка, абсолютно черное тело, идеальный газ, модель атома и др.). Сами задачи по физике с абстрактным содержанием можно рассматривать как идеализированные модели реальных физических задач с конкретным содержанием.

Психологи считают, что в процессе решения физических задач используются модели двух видов: вспомогательные и решающие. Вспомогательные модели (рисунки, схемы, графики, модели отдельных объектов) служат для анализа условия задачи, выявления ее основных частей и структуры, поиска метода решения задачи. Решающие модели представляют собой новые задачи, заменяющие исходные задачи и в каком-то отношении более удобные, чем они. С точки зрения психологии, процесс решения задачи это процесс ее перемоделирования, т. е. построение цепи моделей исходной задачи, конечными звеньями которой являются задачи-модели, методы решения которых известны. [4, с.16]

Вспомогательные и решающие модели выполняют в процессе решения задач различные функции, главные из которых представляют собой конкретизацию, схематизацию, построение наглядного образа задачной ситуации, абстрагирование, обобщение и др.

В зависимости от характера и метода исследования физических явлений **текстовые задачи по физике делятся на качественные (логические, задачи-вопросы) и количественные (вычислительные или расчетные).**

Качественными называют такие задачи, при решении которых определяются только качественные зависимости между параметрами, характеристиками физических явлений, процессов, объектов. Для их решения, как правило, не требуется никаких вычислений. Решение качественных задач заключается в применении физических закономерностей к анализу явлений, о которых говорится в задаче, т. е. объектом изучения является физическая сущность явлений на уровне их объяснения. В связи с этим решение качественных задач наиболее целесообразно на начальных этапах усвоения учебного материала (в частности, с целью формирования физических понятий).

Качественные задачи очень разнообразны по содержанию. Основными их видами являются задачи на объяснение физических явлений, их предсказание; выделение общих черт и существенных различий конкретных явлений, их сравнение; систематизацию и т. д.

Качественные задачи по физике повышают интерес к предмету, развивают логическое мышление учащихся, формируют умение применять знания для объяснения явлений природы и др. Их можно использовать в процессе формирования новых знаний, их обобщении, закреплении и проверке. Качественные задачи включают в самостоятельные и контрольные работы по физике, а также в домашние задания учащимся.

Задачи, при решении которых устанавливаются **количественные** зависимости между физическими величинами, называют количественными (вычислительными или расчетными). Для получения ответа на вопрос задачи (в виде формулы или числа) необходимо произвести определенные математические операции. Начальным этапом решения таких задач является качественный анализ, который затем дополняется количественным анализом с вычислением определенных числовых характеристик процессов. Однако в процессе обучения отмечаются случаи, когда количественные задачи решаются без достаточного качественного анализа путем подстановки данных в формулу, подбираемую по чисто формальным признакам. При этом математические операции могут выступать на передний план, заслоняя физическую сущность задачи.

Таким образом, решение количественных задач необходимо сопровождать достаточно глубоким и всесторонним качественным анализом, выявлением физической сущности задачи. **Количественные задачи** не следует противопоставлять качественным, так как в основе решения задач обоих типов лежит понимание физической сущности законов и умение при-

менять их на практике.

Решение количественных задач способствует глубокому усвоению физических теорий, понятий и законов, формирует действенные знания, воспитывает материалистические представления о природе и т. д. [4, с.19]

Исходя из числа зависимостей, включенных в задачу, **количественные задачи по физике делят на простые и комбинированные.**

Простые задачи требуют несложного анализа и небольших вычислений. Для их решения, как правило, требуется одна-две формулы. Цель решения таких задач - помочь учащимся запомнить формулы, научить подстановке данных, конкретизировать полученные закономерности, закрепить знание наименований физических величин, некоторых констант и др. Такие задачи целесообразно решать (в небольшом количестве) после изучения новой закономерности, а также включать в домашние задания. По дидактическим целям эти задачи являются тренировочными.

Если задачи предполагают применение многих закономерностей из разных тем и разделов физики, то их называют **комбинированными.** Эти задачи можно использовать для углубления знаний учащихся, расширения их представлений о взаимосвязях физических явлений, а также для тематической проверки знаний. По дидактическим целям такие задачи обычно относятся к задачам с познавательным содержанием.

Кроме текстовых задач в процессе обучения физике (в частности, при изучении кинематики, газовых законов, основ термодинамики и др.) широко применяются графические задачи, то есть задачи, в условии или требовании которых содержится график. Для них задается графическая зависимость между двумя физическими величинами или содержится требование выразить графически такую зависимость. И именно графические задачи способствуют формированию функционального мышления у учащихся.

Таким образом, существует огромное количество видов и способов решения задач по физике, которые рассматриваются в учебно-методической литературе. Поэтому важно для учителя подобрать такой комплекс задач, чтобы он способствовал всестороннему развитию ученика и его интереса к физике как к науке.

2. Методические рекомендации по решению задач по молекулярной физике и термодинамике.

Основные понятия кинематики. Основные понятия молекулярной физики

Молекулярная физика - это раздел физики, в котором изучаются физические свойства тел на основе рассмотрения их микроскопического, молекулярного строения.

Молекула - это наименьшая устойчивая частица вещества, обладающая его основными химическими и физическими свойствами. Состоит молекула из атомов, связанных друг с другом за счет валентных электронов.

Размеры молекул зависят от числа атомов в молекуле, которое составляет от двух (H_2, O_2, HCl) до сотен и тысяч (молекулы белков).

Размеры атомов порядка 10^{-10} м. Несложные молекулы имеют размеры того же порядка. В атомной физике удобна внесистемная единица длины - ангстрем:

Моль - единица количества вещества в системе СИ.

В одном моле вещества содержатся такое число его структурных элементов (т.е. составляющих его атомов или молекул), которое равно числу атомов в 12 граммах изотопа углерода ^{12}C .

Число частиц, содержащихся в одном моле называют, числом Авогадро - N_A . Численное значение числа Авогадро

$$N_A = 6,022 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Относительная атомная масса, или атомная масса химического элемента - это отношение массы атома этого элемента к $1/12$ массы атома ^{12}C . Относительные атомные массы химических элементов приводятся в таблице Менделеева.

Молекулярная масса вещества - это отношение массы молекулы этого вещества к $1/12$ массы атома углерода ^{12}C . Зная химическую формулу вещества можно найти молекулярную массу как сумму атомных масс элементов, составляющих данное вещество. Напри-

мер, у воды химическая формула H_2O , атомная масса водорода равна 1, умножаем ее на 2 и прибавляем атомную массу кислорода, 16, получаем, что молекулярная масса воды равна 18. Это безразмерное число, т. к. речь идет об *относительной* молекулярной массе.

Можно говорить и просто о массе атома, о массе молекулы, которые измеряют обычно в атомных единицах массы (а.е.м.). внесистемная единица массы - а.е.м. - это $1/12$ массы атома углерода ^{12}C , которая в системе СИ равна $1,6605655 \times 10^{-27}$ кг. Таким образом, масса молекулы воды равна 18 а.е.м.

Молярная масса - это масса одного моля вещества, выраженная в кг на моль (система СИ). Обозначается молярная масса буквой M (или μ). Из определения моля следует, что *молярная масса M , выраженная в граммах, численно равна относительной молекулярной массе*. Так масса одного моля воды равна 18 г. Из определения моля следует также, что $M = N_A m_{\text{молекулы}}$.

Статистический и термодинамический методы исследования.

Основные положения молекулярно-кинетической теории

Окружающие нас тела состоят из невообразимо огромного числа частиц, молекул или атомов. Ориентиром здесь служит число Авогадро $N_A = 6,022 \times 10^{23}$ моль $^{-1}$, например 18 грамм воды (1 моль) содержит N_A молекул. Поэтому, окружающие нас тела называют *макроскопическими*, от греческого слова makros - большой. В противоположность этому атомы и молекулы называют *микроскопическими* телами, от греческого слова mikros - малый.

Молекулярно-кинетическая теория объясняет физические свойства макроскопических тел на основе представлений о том, что все тела состоят из микроскопических частиц - атомов и молекул. При этом молекулярно-кинетическая теория не интересуется движением каждой отдельной молекулы, а только такими *средними* величинами, которые характеризуют движение огромного числа молекул. Эти средние величины связаны с параметрами, характеризующими состояние макроскопического тела. Поэтому метод молекулярно-кинетической теории называют *статистическим* методом исследования.

Термодинамика в противоположность молекулярно-кинетической теории изучает макроскопические свойства тел, не интересуясь их микроскопической природой.

Статистическая термодинамика посвящена обоснованию законов термодинамики на основе законов взаимодействия частиц составляющих физические системы.

Основные положения молекулярно-кинетической теории:

1. Все тела состоят из мельчайших частиц - атомов и молекул.
2. Эти частицы хаотически движутся.
3. Атомы и молекулы взаимодействуют друг с другом: на малых расстояниях отталкиваются, силы отталкивания резко уменьшаются с увеличением расстояния и обращаются на каком-то расстоянии r_0 в ноль; затем, при дальнейшем увеличении расстояния переходят в силы притяжения. Силы притяжения при увеличении расстояния сначала растут, затем, достигнув максимального значения, убывают до нуля.

Необыкновенную важность основных положений молекулярно-кинетической теории очень образно и ярко выразил выдающийся физик современности, лауреат Нобелевской премии Ричард Фейнман: "Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ пережила бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию?"

Я считаю, что это - атомная гипотеза (можете называть ее не гипотезой, а фактом, но это ничего не меняет): *все тела состоят из атомов - маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них прижать плотнее друг к другу*. В одной этой фразе, как вы убедились, содержится *невероятное* количество информации о мире, стоит лишь приложить к ней немного воображения и чуть соображения (Р. Фейнман. Р. Лейтон, М. Сэндс "Фейнмановские лекции по физике" Том 1, М. "Мир", 1976, с.23).

Модели и абстракции: идеальный газ, равновесное состояние и равно-весные процессы в идеальном газе (изотермический, изохорический, изобарический и

адиабатический).

Основное уравнение МКТ

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon \rangle, \quad p = \frac{2}{3} n \frac{m_0 \langle v_{\text{кв}} \rangle^2}{2}, \quad p = nkT,$$

где p – давление газа; n – число молекул в единице объема; $\langle \varepsilon \rangle$ – средняя энергия теплового движения молекулы газа; m_0 – масса молекулы; T – абсолютная температура; k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К).

$$k = \frac{R}{N_A},$$

где N_A – число Авогадро ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹); R – универсальная газовая постоянная ($R = 8,31$ Дж/(моль·К)).

Среднеквадратическая скорость газовых молекул

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}},$$

где M – масса одного моля газа.

Масса одной молекулы $m_0 = \frac{\mu}{N_A}$

Плотность газа $\rho = \frac{m}{V} = \frac{Nm_0}{V} = nm_0$

Уравнение **Клапейрона – Менделеева** (уравнение состояния разреженного газа)

$$pV = \nu RT = \frac{m}{\mu} RT$$

где ν - число молей газа, m – масса газа, V – объем газа.

Закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс, $T = \text{const}$)

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

Закон Гей – Люссака (изобарический процесс, $p = \text{const.}$)

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

Закон Шарля (изохорный процесс, $V = \text{const.}$)

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Закон Дальтона для давления смеси газов

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_N,$$

где p_1, p_2, \dots, p_N – парциальные давления газов, находящихся в смеси (парциальное давление – давление газа в отдельности, если бы он при данной температуре один заполнял весь объем).

Внутренняя энергия идеального газа

$$U = \frac{i}{2} \nu RT,$$

где i – число степеней свободы молекул.

Среднеарифметическая скорость газовых молекул

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

Алгоритм решения задач по молекулярной физике и термодинамике

1. Выделить объект – идеальный газ с определенным числом степеней свободы i и массой моля M .
2. В зависимости от химической формулы молекулы газа, используя таблицу Менделеева, определить численные значения i и M .
3. Найти недостающие термодинамические параметры, используя уравнение Клапейрона – Менделеева.
4. При наличии изопроцесса написать соответствующее ему уравнение.
5. Для нахождения таких величин, как плотность газа, среднеквадратическая скорость молекул, наиболее вероятная скорость молекул, среднеарифметическая скорость молекул, использовать соответствующие формулы.
6. При решении задач на закон распределения молекул по скоростям использовать упрощенную формулу.
7. Выразить значения всех физических величин в единицах системы СИ.
8. Подставить числовые значения в конечные формулы и произвести расчет.

Примеры решения задач

Пример 1. 10 г кислорода находятся под давлением $3,0 \cdot 10^5$ Па при температуре 10 °С. После расширения, вследствие нагревания при постоянном давлении, кислород занял объем 10 л.

Найти: 1) объем газа V_1 до расширения, 2) температуру газа T_2 после расширения, 3) плотность газа до расширения ρ_1 .

Дано:

$$m = 10 \text{ г} = 10^{-2} \text{ кг};$$

$$p_1 = 3,0 \cdot 10^5 \text{ Па};$$

$$T_1 = 283 \text{ К};$$

$$V_2 = 10^{-2} \text{ м}^3;$$

$$M_{O_2} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}.$$

Анализ

Объект – идеальный газ (кислород) с числом степеней свободы $i = 5$, молярная масса $M = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. В газе происходит равновесный изобарический процесс. Начальное состояние 1 с параметрами P_1, V_1, T_1 ; конечное состояние 2 с параметрами p_2, V_2, T_2 ;

$$1) \quad V_1 = ? \quad 2) \quad T_2 \quad p_1 = p_2$$

$$= ?$$

$$3) \quad \rho_1 = ?$$

Решение

1). Из уравнения Клапейрона – Менделеева выражаем объем газа V_1 в 1 состоянии:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{M} R T_1; \quad V_1 = \frac{m R T_1}{\mu p_1}.$$

2). Для нахождения температуры T_2 используем закон Гей – Люссака:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}; \quad T_2 = \frac{V_2 T_1}{V_1}; \quad T_2 = \frac{p_1 V_2 \cdot M}{m R}.$$

3). Для нахождения плотности газа ρ_1 используем формулу плотности и уравнение Клапейрона – Менделеева:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} = \frac{p_1 M}{R T_1}, \quad \rho_1 = \frac{p_1 M}{R T_1}.$$

4). Расчет искомых физических величин

$$V_1 = \frac{10^{-2} \cdot 8,31 \cdot 283}{32 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^5} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3;$$

$$T_2 = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 10^{-2} \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{10^{-2} \cdot 8,31} = 1155 \text{ К};$$

$$\rho_1 = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{8,31 \cdot 283} = 4,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответы: $V_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, $T_2 = 1155 \text{ К}$, $\rho_1 = 4,1 \text{ кг/м}^3$.

Пример 2. В сосуде объемом $V = 2$ л находится $m = 10$ г углекислого газа под давлением $p = 9 \cdot 10^4$ Па.

Найти: 1) среднеквадратическую скорость молекул газа $\langle v_{\text{кв}} \rangle$,
2) число молекул N , находящихся в сосуде, 3) плотность газа ρ .

Анализ

Объект – идеальный газ (углекислый газ, CO_2) с числом степеней свободы $i=6$, молярная масса $M = 44 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Решение

1). Для нахождения среднеквадратической скорости используем ее формулу и уравнение Клапейрона – Менделеева

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \quad pV = \frac{m}{M} RT; \quad T = \frac{pVM}{mR} \quad \langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RpVM}{MmR}};$$

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3pV}{m}}.$$

2). Для нахождения числа молекул газа количество молей умножаем на число Авогадро

$$N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A; \quad N = \frac{m}{M} N_A.$$

3). Плотность газа находим по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

4). Расчет искомых физических величин:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3 \cdot 9 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{10^{-2}}} = 233 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$N = \frac{10^{-2}}{44 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,37 \cdot 10^{23};$$

$$\rho = \frac{10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} = 5,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Ответы: $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 233$ м/с, $N = 1,37 \cdot 10^{23}$, $\rho = 5,0$ кг/м³.

Пример 3. В сосуде находится идеальный газ, количество вещества ν которого равно 2 моля. Определить число ΔN молекул, относительные скорости U которых меньше 0,001 наиболее вероятной скорости V_e .

Анализ

Объект - идеальный газ, находящийся в равновесном состоянии.

Решение

- 1). Для нахождения числа молекул используем формулу распределения молекул по относительным скоростям U

$$dN = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N e^{-U^2} U^2 dU$$

- 2). По условию задачи максимальная относительная скорость молекул $U_{max}=0,001$, то есть $V_{max}/V_e=0,001$. Для таких малых значений U формулу распределения молекул по относительным скоростям можно упростить. При $U \ll 1$

$e^{-U^2} \approx 1 - U^2$. Пренебрегая значением U^2 по сравнению с единицей, получаем

$$e^{-U^2} \approx 1.$$

В результате чего функция распределения принимает вид:

$$dN = \frac{4}{\sqrt{\pi}} N U^2 dU .$$

- 3). Находим число молекул ΔN , интегрируя это выражение по U в пределах от 0 до U_{max} ,

$$\Delta N = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \int_0^{U_{max}} U^2 dU = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} \frac{U_{max}^3}{3} .$$

- 4). Число молекул N находим по формуле

$$N = \nu \cdot N_A .$$

- 5). Получаем окончательную формулу для

$$\Delta N = \frac{4\nu N_A}{3} \frac{U_{max}^3}{\sqrt{\pi}} .$$

- 6). Рассчитываем ΔN

$$\Delta N = \frac{4 \cdot 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10^{-9}}{3\sqrt{3,14}} = 9,07 \cdot 10^{14} \text{ молекул.}$$

Ответ: $\Delta N = 9,07 \cdot 10^{14}$ молекул.