Санкт-Петербургский государственный политехнический университет
Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций
кафедра Экспериментальной физики

Д.В. Свистунов

Методические рекомендации к решению задач по физике для студентов вечерних факультетов: Механика, молекулярная физика и термодинамика

Учебное пособие

Санкт-Петербург
2013

Введение

В ряде задачников и методических пособий по решению задач, в каждом разделе, после краткого перечня основных законов и формул, приведены примеры решения некоторых типовых задач по теме. Однако, ввиду большого количества таких задач для каждой темы, рассмотреть ход решения задач всех типов не представляется возможным в ограниченных рамках объема задачников. В то же время, при решении разных задач по одной теме, существуют некоторые общие подходы к решению, применимые для всех типов задач по данной теме. Знание таких подходов и умение их использовать позволяет студентам успешно решать типы задач, не представленные в числе примеров решений в задачниках.

Данное пособие посвящено рассмотрению основных общих подходов, применяемых для решения задач по темам первого семестра обучения общей физике. Поскольку это пособие является дополнительным материалом, предполагающим его использование совместно с задачниками, то сводный перечень законов и формул, связанных с решением задач, здесь не приводится, т.к. такие перечни обычно представлены в задачниках. При этом, тематическое содержание разделов ограничено вопросами, входящими в обязательную часть программы курса физики для студентов вечерних факультетов.

Перед тем, как перейти к изложению рекомендаций к решению задач по разделам курса, приведем несколько общих положений.

Решение задач следует проводить в общем виде, используя в формулах буквенные обозначения физических величин и подставляя заданные в условии задачи числовые значения лишь в конечную расчетную формулу.

Перед этой подстановкой надо оценить правильность полученной формулы, проведя проверку размерности формулы в целом и ее составных частей. При этом следует помнить, что размерность левой части формулы должна быть равна размерности ее правой части. Если формула содержит некоторую сумму, то слагаемые должны иметь одинаковую размерность. То же относится к действию вычитания. Кроме того, степени экспоненциальной функции e^{x} и степенных функций x^{n} или a^{x} должны быть безразмерными величинами, равно как и сама экспоненциальная функция exp(x) и логарифмические функции $\log_a(x)$, lg(x), ln(x). Аргументы тригонометрических функций должны измеряться в угловых единицах (в градусной или радианной мере), а аргументы обратных тригонометрических функций (arcsin(x), arctg(x) и т.д.) – быть безразмерными. Проведение проверки размерности конечной формулы и, при необходимости, распространение проверки на промежуточные формулы позволяет студентам самостоятельно выявлять возможные ошибки, допущенные при выводе этих формул.

После подстановки числовых значений в выведенную формулу и получения численного значения искомой величины следует оценить правильность полученного результата, исходя из соображений соответствия его очевидным ограничениям. Так, вычисленная скорость движения тела не должна быть больше скорости света в вакууме. Другой пример: температура газа в сосуде не может составлять десятки тысяч Кельвин, поскольку ни один материал стенки сосуда не выдержит нагрев до такой температуры.

Механика

Кинематика

Приступая к решению задачи, следует нарисовать векторные диаграммы скоростей и ускорений рассматриваемых тел, а также, если возможно, изобразить траектории их движения. Наглядность таких схем и диаграмм значительно облегчает четкое понимание условия задачи и позволяет определиться с характером движения тел. На этой же схеме или диаграмме следует указать направления осей координат выбранной системы отсчета (заметим, что при рассмотрении относительного движения нескольких тел бывает удобно выбирать движущуюся систему отсчета, связав ее с одним из тел). В большинстве случаев используют декартову систему координат, направляя ее оси так, чтобы проекции векторов на них получались наиболее простым образом. Каждый раз выбор направления осей определяется условиями конкретной задачи. Например, в задачах, рассматривающих движение тел вблизи поверхности Земли (которую на относительно малом ее участке условно считают плоской), обычно одну координатную плоскость (XY, YZ или XZ) направляют вдоль этой поверхности. При этом перпендикулярный этой поверхности вектор ускорения свободного падения, имеющегося у всех тел данной задачи, оказывается параллельным оставшейся оси декартовых координат. В то же время, при движении тел по наклонной плоскости можно направить две оси координат вдоль этой плоскости, а третья ось будет совпадать с нормалью к ней. Тогда векторы скоростей тел будут параллельны координатной плоскости.

После этого надо определить заданный в задаче характер движения и записать кинематические уравнения движения тел в векторной форме. Для наиболее простых случаев равномерного или равноускоренного движения эти уравнения хорошо известны. Отметим, что, решая задачу в векторной форме, можно значительно упростить саму процедуру решения. Это относится, например, к задачам на определение расстояния между двумя телами, движущимися под углом друг к другу. В таких случаях удобно провести решение в движущейся системе отсчета, жестко связав ее начало с одним из тел. При этом искомый радиус-вектор из ее начала к другому телу (точнее, его модуль) окажется решением векторного кинематического уравнения второго тела. Это уравнение записывается в подвижной системе отсчета с учетом переносных скорости и ускорения движения этой системы. Задача оказывается решенной в одно действие.

В значительной части задач, чтобы найти величины, которых нельзя получить прямо из векторного кинематического уравнения (например, максимальную высоту полета тела, брошенного под углом к горизонту), основную часть решения проводят в скалярной форме. При этом пользуются тем обстоятельством, что любое движение можно разложить на составляющие этого движения вдоль координатных осей и рассматривать эти движения независимо друг от друга. Для этого записывают проекции векторного кинематического уравнения на оси координат и решают систему полученных скалярных уравнений, описывающих каждое соответствующую координату тела в зависимости от времени.

Иногда для решения кинематического уравнения требуется применить операцию интегрирования. Обычно это происходит в случаях движения с переменным ускорением. Здесь следует помнить о том, что интегрирование заменяет собой операцию алгебраического сложения и позволяет работать только со скалярными величинами. Поэтому, если надо проинтегрировать векторную величину (например, проинтегрировать ускорение по времени для нахождения зависимости скорости от времени), то вектор (ускорения) раскладывают по осям координат и проводят раздельное интегрирование его проекций, получая таким образом компоненты результирующего вектора (скорости). Если далее в ходе решения задачи требуется провести интегрирование этого результирующего вектора (например, для определения координат тела), то интегрируют его компоненты так же раздельно в скалярном виде, в результате чего получают координаты тела в зависимости от времени.

При криволинейном движении тела, для определения длины пути используют криволинейную координатную линию, совпадающую с траекторией движения тела. При этом скалярное кинематическое уравнение будет иметь тот же вид, который оно имело бы при прямолинейном движении тела со скоростью и ускорением, равными тангенциальной скорости и тангенциальному ускорению тела в его криволинейном движении. Если траектория представляет собой окружность, то для описания движения тела удобно использовать угловые характеристики движения (угловое перемещение, угловую скорость, угловое ускорение) и их связь с линейными характеристиками движения.

При расчете длины пути, пройденного телом, надо помнить о том, что ее отсчет ведется вдоль траектории *в направлении движения* тела. Поэтому, если тело меняет направление движения на противоположное (например, брошенный вверх камень начинает падать на землю), траекторию разбивают на участки, на каждом из которых тело движется в одном направлении, и общую длину пути определяют как сумму путей, пройденных телом на этих участках. Напомним, что длина пути – скалярная положительная величина.

Если в результате решения задачи получены отрицательные значения модулей скорости или ускорения, значит, их векторы имеют направления, противоположные принятым в начале решения задачи.

Динамика поступательного движения тел

Сначала следует составить векторные диаграммы сил, действующих на рассматриваемые в задаче тела. Далее следует выбрать систему отсчета и определить, инерциальная ли эта система. Часто решение задачи облегчается, если выбранная система жестко связана с движущимся телом. Тогда это тело оказывается в ней неподвижным, и его ускорение в ней равно нулю.

Оси координатной системы обозначают на этой же векторной диаграмме. Направление осей координат выбирают таким образом, чтобы получить проекции векторов сил на эти оси наиболее простым образом, т.е. чтобы хотя бы некоторые векторы сил были параллельны или перпендикулярны осям координат. Если из условия задачи заведомо понятно направление вектора ускорения тела, заданное, например, направляющими движение тела конструкциями, то одну ось координат удобно направить вдоль этого направления. При движении тела по окружности и выборе движущейся системы отсчета, связанной с этим телом, одну ось направляют обычно по радиусу этой окружности.

Если выбранная система отсчета неинерциальная, то надо дополнительно ввести силу инерции, равную по модулю массе тела, умноженной на переносное ускорение движения системы отсчета относительно неподвижной системы (в ее качестве часто выбирают систему отсчета, связанную с Землей). Направление силы инерции противоположно направлению вектора переносного ускорения, точка приложения – центр масс тела. Силу инерции (в общем случае сложного движения тела, ее компоненты – поступательную силу инерции, центробежную силу, кориолисову силу) надо обозначить на векторной диаграмме сил и учесть при определении результирующей силы, действующей на тело.

Результирующую силу определяют как векторную сумму сил, действующих на тело. Однако, следует помнить, что это правило векторного сложения сил применимо не всегда. Его можно применять для материальной точки, а также в случаях заведомо поступательного движения твердого тела. Если тело является свободным (т.е. на его перемещение не наложено никаких ограничений, и оно может двигаться в пространстве любым образом), а силы приложены к разным его точкам или к одной точке, отстоящей от центра массы тела, причем линии действия сил не проходят через центр масс тела, то такие силы будут определять вращательное движение тела, и их действие надо учитывать с привлечением моментов этих сил по правилам динамики вращения твердого тела.

Далее надо записать в векторной форме основное уравнение динамики – 2-й закон Ньютона для каждого тела рассматриваемой системы в отдельности. Следует привыкнуть записывать это уравнение в его наиболее общей форме $\vec{F} = d\vec{p} / dt$ (где $\vec{p}$ – импульс тела), а затем уточнять его запись в зависимости от условия задачи. В этой форме уравнение справедливо для всех задач, в том числе для случаев тел переменной во времени массы (ракеты, платформы под погрузкой сыпучим материалом и т.д.) и релятивистских скоростей движения тел. В наиболее простом случае малых скоростей и постоянной массы, следующей строчкой записываем известную форму $\vec{F} = m\vec{a}$. Принятие такого порядка гарантирует от ошибки сугубо автоматического использования этой наиболее простой формы записи закона Ньютона в указанных случаях условий задач, где такая форма неприменима.

В дополнение к составленной для всех тел системе уравнений динамики, следует выделить и записать для используемых в уравнениях величин ряд векторных равенств, отражающих особенности взаимосвязи тел согласно условиям задачи. Так, при рассмотрении системы связанных тел, нить по умолчанию считают невесомой и нерастижимой. Это дает возможность сказать, что связанные тела будут двигаться с одинаковыми ускорениями и что для каждой нити в связке тел справедливо равенство по модулю и противоположность направлений сил натяжения нити на ее концах.

После этого записываются проекции составленных векторных уравнений на оси координат и решается полученная система скалярных уравнений для получения конечной расчетной формулы и вычисления численного значения искомой величины.

Отметим, что решение уравнения динамики позволяет найти ускорение движения тела. Если требуется найти скорость, координаты или длину пути, то это надо сделать с использованием найденного ускорения, дополнительно составив и решив кинематические уравнения движения тела.

Вращательное движение твердого тела

Кинематика вращательного движения твердого тела описывается с использованием угловых характеристик движения и записанных через них уравнений вращения, которые по своей форме аналогичны формулам поступательного движения. При этом, в качестве положительного направления вращения может быть выбрано любое из двух – по часовой стрелке или против нее.

Решение задач по динамике вращения начинают со схематичного изображения тела, показывая на рисунке ось вращения и векторы действующих на тело сил в точках их приложения. Следует твердо уяснить, что, при вращении тела, результат воздействия силы зависит от ее плеча (расстояния от линии действия силы до оси вращения). Поэтому при описании динамики вращения вместо величин сила, импульс, масса пользуются величинами момент силы, момент импульса, момент инерции. Несмотря на то, что это обстоятельство является основополагающим в динамике твердого тела, одна из наиболее частых ошибок студентов при решении задач по динамике вращения твердого тела – попытка применить динамические характеристики и законы, принятые в динамике поступательного движения.

Аналогично случаю поступательного движения, решение уравнений динамики вращательного движения позволяет найти угловое ускорение вращения тела. Если требуется определить угловую скорость или угловое перемещение, это производится по правилам кинематики вращательного движения с использованием найденного углового ускорения.

Обычно в этом разделе рассматриваются также задачи, в которых задано плоское движение твердого тела. Такие задачи решают, раскладывая плоское движение на сумму вращения тела вокруг оси, проходящей через центр массы тела, и поступательного движения тела со скоростью его центра массы. Однако, в некоторых задачах можно выделить в какой-либо момент времени точку тела, скорость которой в плоском движении равна нулю относительно неподвижной системы отсчета (например, для катящегося по плоскости цилиндра или шара – точку его опоры на плоскость). Если по ходу решения таких задач требуется определить и использовать соотношение скоростей и/или ускорений разных точек тела, то полезно применять подход, в котором плоское движение рассматривается в каждый момент времени как вращательное движение тела с той же угловой скоростью вокруг мгновенной оси, проведенной через эту мгновенно неподвижную точку тела. При этом момент инерции тела относительно этой оси определяется, конечно, по теореме Штейнера.

Часто в этом же разделе задаются задачи на равновесие тела. Следует напомнить, что для состояния устойчивого равновесия тела характерно не только равенство нулю результирующей силы и суммарного момента сил, но и условие минимума потенциальной энергии тела в поле внешних сил. Кроме того, напомним, что при рассмотрении тела в неинерциальной системе отсчета, в векторной сумме действующих на тело сил и сумме моментов этих сил необходимо учесть силы инерции и их моменты.

Законы сохранения

В первую очередь, требуется определить, соблюдаются ли условия применимости законов сохранения к рассматриваемой системе тел.

Закон сохранения механической энергии применим для замкнутых систем (на которые не действуют внешние силы), а также для систем, на которые действуют внешние консервативные силы (т.е. силы, работа которых не зависит от пути перехода тела из начального в конечное положение), векторная сумма которых равна нулю. Если на систему или внутри системы (в том числе замкнутой) действуют неконсервативные диссипативные силы (силы трения и т.д.), то этот закон не соблюдается, возникают потери механической энергии с переходом ее части в другие формы энергии. В таком случае используют закон изменения механической энергии, приравнивая ее потерю к работе неконсервативных сил.

Заметим, что для системы тел, движущихся в поле сил земного притяжения, мы можем пользоваться законом сохранения механической энергии, хотя система кажется незамкнутой. В этом случае в задаче просто умалчивается, что на самом деле рассматривается более общая система, включающая Землю, и ее можно считать замкнутой. Влияние рассматриваемых в задачах тел на движение Земли пренебрежимо мало из-за колоссальности массы Земли. Энергию Земли можно считать неизменной при решении таких задач, и ее просто не записывают в уравнении, сравнивающем состояния системы до и после взаимодействия тел. Силы притяжения фактически являются здесь внутренними консервативными силами взаимодействия этой общей системы, а потенциальная энергия тел в поле сил земного притяжения – частью потенциальной энергии взаимодействия тел внутри системы.

Напомним, что нулевой уровень потенциальной энергии можно произвольно выбирать, исходя из соображений удобства решения данной конкретной задачи.

Закон сохранения импульса применим для замкнутых систем, а также в случае равенства нулю результирующей внешней силы, действующей на систему. Заметим, что если эта сила отлична от нуля, то закон сохранения импульса выполняется для проекции импульса системы на направление, перпендикулярное вектору результирующей внешней силы. При этом проекция импульса системы является алгебраической суммой проекций импульсов тел системы на это направление.

В отличие от закона сохранения механической энергии, закон сохранения импульса применим при любых процессах, происходящих внутри замкнутой системы, в том числе при действии диссипативных сил внутри такой системы. Действительно, последовательно применив, например, к паре контактирующих тел замкнутой системы 3-й и 2-й законы Ньютона с учетом взаимного трения тел, можно убедиться, что за некоторый промежуток времени импульсы этих тел получат равные по модулю и противоположные по знаку приращения, т.е. наличие сил трения между этими телами не повлияет на суммарный импульс системы.

Известно, что кинетическая энергия (а, значит, и полная механическая энергия) и импульс зависят от скорости движения тела. Следовательно, их величины зависят от выбора системы отсчета, и при переходе рассмотрения в другую систему отсчета их значения изменятся. Эти изменения можно определить, используя для классической механики правило векторного сложения скоростей, а для релятивистской области – пересчет проекций скорости тела на оси координат.

Начать решать задачу следует с составления векторной диаграммы импульсов тел системы в ее начальном и конечном (по условиям задачи) состояниях. Здесь же следует обозначить оси выбранной системы координат, выбирая их направление наиболее выгодным для данной задачи образом: например, так, чтобы одна ось была параллельна вектору начального импульса системы тел. После этого записывают закон сохранения импульса в векторной форме, а затем – уравнение этого закона в его проекциях на оси координат. Решая систему полученных скалярных уравнений, определяют искомые величины.

Условия применимости закона сохранения момента импульса система аналогичны условиям закона сохранения импульса, только здесь фигурирует суммарный момент внешних сил. При этом, наличие трения внутри изолированной системы тел также не препятствует выполнению закона сохранения момента импульса системы.

Значительная часть задач решается при совместном использовании законов сохранения (закон сохранения механической энергии в паре с законом сохранения импульса либо законом сохранения момента импульса). При этом обязательно требуется проверять, выполняются ли в данной задаче условия применимости обоих законов такой пары. В ряде задач, где есть возможность определить по ходу решения величину работы диссипативных сил, закон сохранения механической энергии можно заменить в совместном использовании с другими законами сохранения законом изменения механической энергии.

Элементы специальной теории относительности (СТО)

Напомним, что СТО рассматривает только инерциальные системы отсчета. Обычно в задачах рассматривается простейший случай: полагается параллельность координатных осей двух систем и движение одной системы вдоль одной из осей с постоянной скоростью.

Следует помнить, что в релятивистской области классическое правило векторного сложения скоростей несправедливо. Пользуясь здесь этим правилом, можно получить нарушение постулата об одинаковой величине скорости света (предельного значения скорости движения тел и распространения информации в природе) во всех инерциальных системах отсчета. Векторы складываемых релятивистских скоростей раскладывают по осям координат, проводят по известным формулам расчет проекций результирующей скорости тела, и только тогда можно построить вектор этой скорости.

Иногда в условии задачи задают не скорость движения тела (обычно – какой-либо элементарной частицы) а величину его кинетической энергии W_k. Тогда, чтобы определить, какую форму записи кинетической энергии (классическую или релятивистскую) надо использовать в решении задачи, полезно воспользоваться следующим критерием: если заданная энергия W_k много меньше энергии покоя частицы $W_0 = m_0 c^2$, то частица – нерелятивистская. Если это условие не соблюдается, то частица – релятивистская.

Молекулярная физика и термодинамика

Законы состояния идеальных газов

Прежде всего, следует сказать, что газ проявляет свойства, близкие к свойствам идеального газа, если он находится в условиях, не слишком отличающихся от нормальных условий (т.е. давление газа около 10^5 Па при температуре вблизи 0 ^oC) или он еще более разрежен. При высоких давлениях или очень низких температурах законы состояния идеальных газов неприменимы.

Следует также напомнить, что хорошо известные формы записи законов изопроцессов (закон Бойля-Мариотта – изотерма $PV = const$, закон Гей-Люссака – изобара $V/T = const$, закон Шарля – изохора $P/T = const$), уравнение Пуассона для адиабаты $PV\gamma = const$, уравнение политропы $PVn = const$ и закон Клапейрона $PV/T = const$ справедливы при условии постоянства массы газа в течение термодинамического процесса.

Изменение массы газа в ходе процесса можно учесть, записав уравнение Менделеева-Клапейрона $PV = \nu RT$ для начального и конечного состояний термодинамической системы (с разными массами газа).

Вообще следует помнить, что уравнение Менделеева-Клапейрона справедливо не только для изопроцессов, но и для любого процесса с изменением всех термодинамических параметров идеального газа. Это уравнение можно использовать в ходе решения всех задач термодинамики идеальных газов.

При решении задачи надо не забыть проверить, в единицах какой шкалы задана в условии температура. Отсутствие перевода значения температуры, отсчитанного по международной практической шкале (в ^oC), в соответствующее значение по термодинамической шкале (в К) – одна из довольно частых ошибок студентов.

Рассматривая смесь газов, полезно пользоваться не только законом Дальтона для давления смеси как суммы парциальных давлений ее компонентов, но и следствием из этого закона: количество вещества смеси ν в молях равно сумме молей отдельных компонентов смеси. Это следствие используется, например, при определении молярной массы смеси.

Первое начало термодинамики

Наряду с известной интегральной формой записи этого закона $Q = \Delta U + A$, широко используется его дифференциальная форма $\delta Q = dU + P\ dV$, описывающая изменение состояния системы при малых изменениях термодинамических параметров. Эта форма закона применяется, например, при определении величины теплоемкости или работы газа в ходе термодинамического процесса, уравнение которого задано в условии задачи.

Заметим, что, как и уравнение состояния идеального газа, уравнение первого начала термодинамики в его классической форме справедливо при условии постоянства массы газа в ходе процесса. При выполнении этого условия, уравнение первого начала термодинамики можно смело записывать в его общем виде для любого термодинамического процесса, и далее, в зависимости от условий задачи, уточнять вид записи членов уравнения.

Часто это уравнение используют в паре с законом Менделеева-Клапейрона, выражая из последнего одни термодинамические параметры через другие, заданные в условии задачи, и подставляя полученные выражения в уравнение первого начала термодинамики.

Следует учитывать знаки величин, входящих в уравнение первого начала. Если система получает извне энергию, то количество теплоты считается положительным, если отдает энергию – отрицательным. Если газ совершает работу над окружающими телами, то его работа считается положительной, если работа совершается внешними силами над газом, то величина работы считается отрицательной. Знак приращения внутренней энергии газа определяется знаком приращения его температуры в рассматриваемом термодинамическом процессе.

При использовании в решении задачи теплоемкостей идеальных газов следует помнить о том, что формула Майера в ее классическом виде связывает между собой *молярные* теплоемкости при постоянном давлении C_P и при постоянном объеме C_V. Чтобы использовать эту формулу для *удельных* теплоемкостей, надо несколько изменить ее, поделив одно слагаемое – универсальную газовую постоянную R – на молярную массу газа.

Элементы молекулярно-кинетической теории (МКТ)

МКТ рассматривает газ как совокупность множества хаотически движущихся молекул, и основные уравнения МКТ используют средние значения характеристик этого множества частиц. Так, в формуле для давления газа используется средняя квадратичная скорость молекул или средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул тоже представляет именно среднюю величину, приходящуюся на одну степень свободы.

Следует четко уяснить, что в классических формах записи основного уравнения МКТ (давление газа на стенку сосуда), распределения Максвелла молекул газа по скоростям и формул для характерных скоростей, распределения Больцмана (распределение молекул газа в потенциальном поле внешних сил) входящая в эти выражения масса обозначает массу одной молекулы, а не всего газа. Эти же выражения могут быть записаны и с использованием молярной массы газа. Чтобы не перепутать, какую массу надо подставлять при проведении численного расчета, можно воспользоваться простым критерием. Если в формуле в сочетании с некоей массой m используется произведение kT (где k – постоянная Больцмана), то здесь фигурирует масса одной молекулы газа. Если в формуле в сочетании с обозначением массы используется произведение RT, то здесь в формулу подставляем молярную массу.

Следует помнить, что с помощью распределения Максвелла нельзя узнать число молекул, имеющих точно заданную скорость. Можно определить число молекул, скорости которых лежат в некотором интервале скоростей, прилегающем к заданной, либо узнать соотношение числа молекул, имеющих разные заданные скорости, выбрав одинаковую ширину интервалов в окрестности этих скоростей.

Связанные с распределением Максвелла характерные скорости молекул используются каждая в определенном типе задач. Средняя арифметическая скорость молекул применяется в задачах, где в выражениях используется скорость в первой степени (при определении длины свободного пробега молекул, частоты их соударений и т.д.). Выражение для средней квадратичной скорости подставляют в расчетные формулы задачи при определении величин, связанных с квадратом модуля скорости молекул, например, давления газа или средней кинетической энергии их поступательного движения. Наиболее вероятная скорость, которую имеет наибольшая доля молекул газа при данной температуре, фигурирует в задачах, использующих в решении распределение молекул по скоростям.

Второе начало термодинамики. Циклы.

Решая задачи, в которых рассматриваются замкнутые термодинамические процессы, следует помнить, что расчет КПД тепловой машины η с использованием температур нагревателя $T_н$ и холодильника $T_х$ как $\eta = 1 - T_х/T_н$ справедлив только для идеального цикла Карно. Во всех остальных случаях надо определять КПД по общей формуле $\eta = 1 - Q_х/Q_н$, где $Q_н$ – подведенное, а $Q_х$ – отведенное от рабочего тела количества теплоты.

Приступая к рассмотрению кругового процесса, следует нарисовать его график в координатах термодинамических параметров, составив график цикла из кривых, соответствующих заданным в задаче частным процессам, образующим общий цикл. Наглядность такого рисунка помогает правильно определить участки цикла, на которых рабочее тело получает энергию от нагревателя и отдает ее часть холодильнику.

В задачах, где требуется определить изменение энтропии в ходе обратимого процесса, удобно пользоваться следующей формулой, получаемой из обобщенного закона первого и второго начал термодинамики: $\Delta S = \nu C_V \ln(T_2 / T_1) + \nu R \ln(V_2 / V_1)$. Используя ее совместно с уравнением Менделеева-Клапейрона состояния идеального газа и, если необходимо, проведя с его помощью замену термодинамических параметров в формуле для приращения энтропии, можно получить ее запись с использованием параметров, значения которых заданы в условии задачи. Если в задаче рассматривается смесь газов, то при решении можно использовать свойство аддитивности энтропии, согласно которому общая энтропия системы равна сумме энтропий составных частей системы.

Заключение

Согласно учебным планам курса общей физики для студентов вечерних факультетов, практические занятия по решению задач проводятся в объеме 16 учебных часов в семестр. Это вполне позволяет рассмотреть задачи по всем отмеченным в данном пособии темам.

Представленные методические рекомендации могут служить дополнением, например, к следующим сборникам задач, пригодных для проведения практических занятий со студентами вечерних факультетов:

1. А.Г. Чертов, А.А. Воробьев. Задачник по физике: Учеб. пособие. (разные годы издания)
2. Б.Д. Агапьев, В.Н. Белов, Н.Г. Захаров. Задачи по курсу физики. Часть 1. Механика. Теория относительности. Молекулярная физика. Термодинамика: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002, 84с.
3. Н.Е Савченко. Решение задач по физике: Учеб. пособие. Мн.: Выш. шк., 2005, 479с.
4. И.В. Савельев. Сборник вопросов и задач по общей физике: Учеб. пособие. (разные годы издания)

Конечно, этот краткий список может быть значительно расширен, и представленное пособие может использоваться совместно с любыми другими сборниками задач, выбранными преподавателями для проведения занятий.