

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
аграрный университет имени И. Т. Трубилина»

Архитектурно-строительный факультет

Кафедра физики

ФИЗИКА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для студентов специальности
08.05.01 Строительство уникальных
зданий и сооружений

Краснодар
КубГАУ
2019

Составители: Д. В. Лебедев, Т.П. Колесникова, Г.Ф. Бершицкая,
Е. А. Рожков.

Физика : метод. указания / сост. Д. В. Лебедев, Т.П. Колесникова,
Г.Ф. Бершицкая, Е. А. Рожков. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – 105 с.

В методических указаниях содержатся теоретические сведения по таким разделам физики, как «Механика» и «Молекулярная физика и термодинамика», методические указания по решению физических и прикладных задач. Рассмотрены основные вопросы кинематики и динамики поступательного и вращательного движений, элементы механики сплошных сред, основные положения молекулярной физики и термодинамики.

Предназначено для студентов специальности 08.05.01 Строительство уникальных зданий и сооружений.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией архитектурно-строительного факультета Кубанского государственного аграрного университета, протокол № 2 от 22.10.2019.

Председатель
методической комиссии



А. М. Блягоз

- © Д. В. Лебедев,
Т.П. Колесникова,
Г.Ф. Бершицкая,
Е. А. Рожков,
составление, 2019
- © ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный аграрный
университет имени
И. Т. Трубилкина», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Планирование самостоятельной работы	6
2. Работа с рекомендованной литературой	9
3. Работа с конспектом	10
4. Выписка из учебного распорядка и правил поведения студентов	12
5. Организация проведения лабораторных занятий и подготовка к ним	14
6. Организация проведения практических занятий и подготовка к ним	18
7. Изучение дисциплины «Физика»	19
8. Общие методические указания по самостоятельной работе и выполнению контрольных работ для студентов—очников	20
9. Учебные материалы по разделам курса физики	25
9.1 Физические основы механики	25
Примеры решения задач	33
9.2 Молекулярная физика. Термодинамика	52
Примеры решения задач	59
10. Задачи по механике	74
11. Задачи по молекулярной физике и термодинамике	86
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94
ПРИЛОЖЕНИЯ	98

Введение

Физика - это наука о наиболее общих законах природы. Само название этой науки произошло от греческого слова φύσις – природа. Во времена Ньютона господствовало другое название физики – натурфилософия, которое в переводе означает философия природы.

Важнейшими свойствами природы в целом и отдельных ее объектов является материальность и изменчивость. Материя – это объективная реальность, существующая независимо от нашего сознания и данная нам в ощущениях. Существуют две основные формы материи - вещественная и полевая.

Все изменения и процессы, происходящие в природе, можно обозначить одним словом – движение. Существует множество форм движения.

Предметом, который изучает физика, являются простейшие и наиболее общие формы движения. Более детально мы рассмотрим их при изложении конкретного материала.

Предмет физики определяет ее место в ряду других наук как фундаментальной науки. Это сближает ее с философией – наукой, изучающей наиболее общие законы природы, общества и познания науки, существенно определяющей мировоззрение человека.

Физические идеи и методы исследований во многих случаях являются универсальными и широко используются в других областях знаний. Результаты физических исследований оказывают значительные, подчас революционные изменения в технике, в

средствах производства, которые, в свою очередь, ставят новые задачи для физики.

Таким образом, изучение курса физики в инженерном вузе преследует следующие цели: формирование научного мировоззрения, изучение физических идей и методов, в том числе имеющих технические приложения.

Задачей физики, как и любой науки, является формулирование закономерностей, применение которых позволяет упрощать решение возникающих задач. Здесь уместно, следуя венгерскому математику и педагогу Д. Пойа, сформулировать общий принцип решения задач любого типа: сложная задача всегда может быть разбита на несколько простых задач. В физике этот общий принцип трансформируется в принцип суперпозиции движений, который будет сформулирован ниже.

Настоящее «Практическое руководство по организации самостоятельной работы студентов при изучении дисциплины «Физика» ориентировано в основном на студентов–очников. В нем поясняется работа с рекомендованной литературой, с конспектом лекций, организация и проведение лабораторных и практических занятий, самостоятельная работа под руководством преподавателя.

В качестве примеров решения задач рекомендуется учебное пособие: Т.И. Трофимова, З.Г. Павлова. Сборник задач по курсу физики с решениями. М.: Высш. шк., 2004. –591 с.

Рекомендованные задачи также могут быть использованы при проведении практических занятий.

1. Планирование самостоятельной работы

Особенность учебного процесса в высшей школе заключается в огромном значении самостоятельной работы студентов по изучению учебных дисциплин. Только самостоятельная работа студентов над учебным материалом дает прочные и систематизированные знания, приучает к самостоятельному и творческому мышлению, способствует становлению высокообразованного специалиста-профессионала.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы предназначены для студентов младших курсов, изучающих дисциплину «Физика» на кафедре физики.

Самостоятельная работа студентов включает в себя:

- проработку лекционного материала перед практическими и лабораторными занятиями, а также изучение рекомендованной литературы;
- подготовку к лабораторным занятиям: изучение теории по теме лабораторной работы, устройства лабораторной установки или стенда, порядка выполнения работы, оформление отчета по выполненной лабораторной работе;
- подготовку к практическим занятиям: изучение теоретических вопросов, законов и формул по теме практического занятия по решению задач;
- самостоятельное изучение разделов, тем и отдельных вопросов рабочей программы дисциплины;
- выполнение контрольных работ;

- выполнение реферативных работ по заданной теме;
- подготовку докладов на семинары и конференции по заданной теме;
- подготовку к зачетам или экзаменам по дисциплине.

На рисунке 1 приведен алгоритм самостоятельной работы студентов с учетом основных видов учебных занятий кафедры физики.

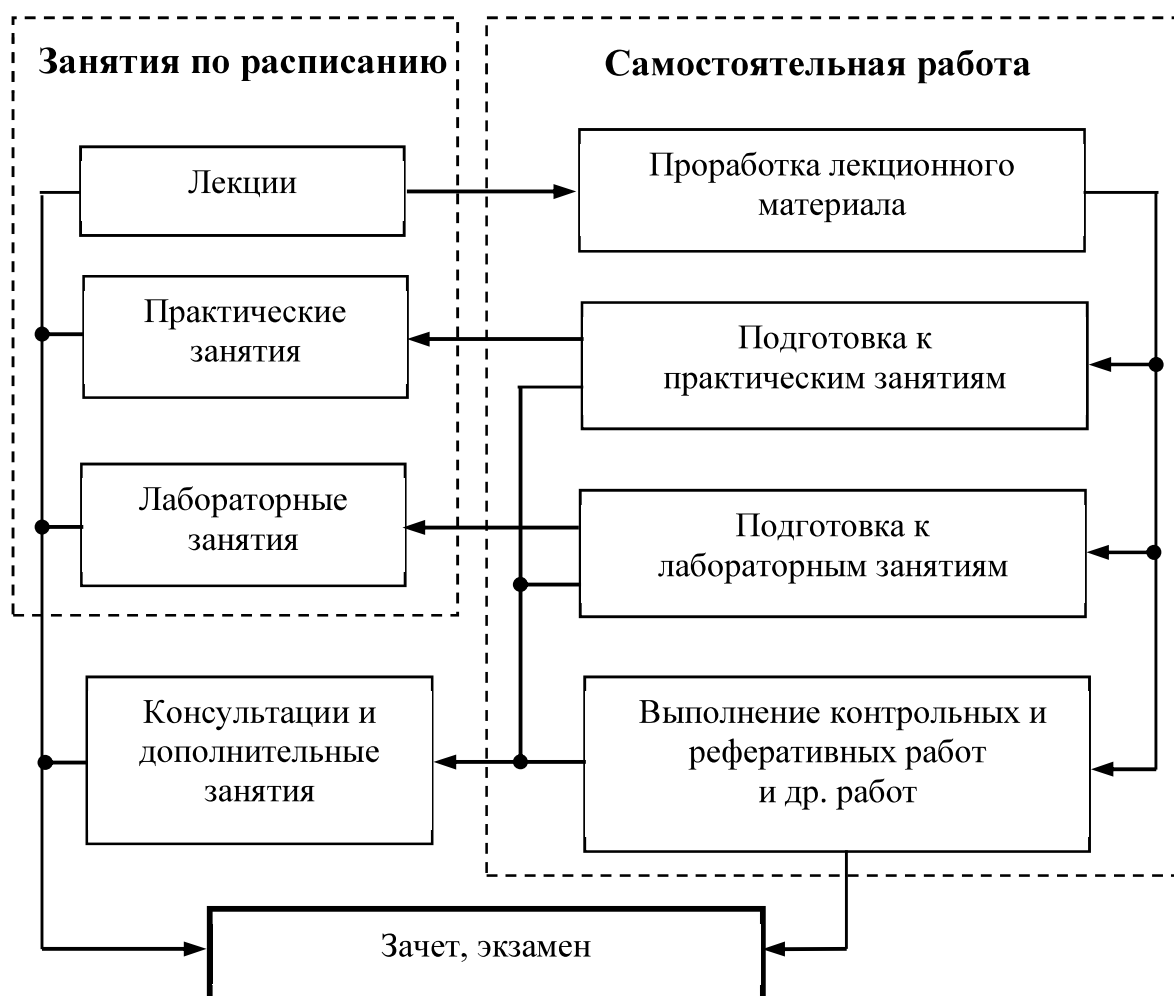


Рисунок 1

Для качественного усвоения материала по курсу физики самостоятельная работа должна составлять до 6 часов в неделю (односеместровое занятие) на естественных факультетах, 4,5-6,5

часов (в зависимости от двух- или трехсеместровых занятий) на инженерных факультетах.

Для выполнения самостоятельной работы каждому студенту необходимо составить план (расписание) самостоятельной работы, который практически должен совпадать с расписанием аудиторных занятий. При этом целесообразно учитывать следующее.

1. Лекционный материал должен прорабатываться дважды: *первый раз* в день проведения лекции, чтобы лучше его запомнить и, возможно, дополнить; *второй раз* – при подготовке к практическим и лабораторным занятиям в качестве основы для расширенного изучения темы по рекомендованной литературе.

2. Контрольные и реферативные работы, а также подготовку докладов на семинары и конференции рекомендуется выполнять сразу же после получения задания для более качественного поиска литературы и изучения найденного по заданной теме материала.

3. Самостоятельное изучение разделов, тем и отдельных вопросов рабочей программы курса физики рекомендуется осуществлять в кратчайшие сроки по мере поступления задания от лектора.

4. График консультаций и дополнительных занятий всех преподавателей кафедры висит на доске объявлений кафедры физики, а также объявляется ведущим преподавателем на лекции.

2. Работа с рекомендованной литературой

Запоминание и воспроизведение учебного материала зависит от памяти человека, в том числе зрительной и слуховой. Для развития памяти необходимо самостоятельно работать с конспектами лекций и рекомендованной литературой. Для этого существует несколько полезных рекомендаций.

1. Работу с учебниками и учебными пособиями необходимо совмещать со временем проработки конспекта лекций. Сначала необходимо найти в книге (учебнике, учебном пособии) раздел, соответствующий материалу по изучаемой теме. Внимательно прочитать конспект лекций по данной теме, а затем изложение этой темы в книге. Особое внимание необходимо уделять иллюстрациям (рисункам, графикам), которые облегчают понимание вопроса и запоминание текста. При этом в работу включается зрительная память.

2. Лучшая форма конспектирования книги – тезисная. Необходимо записывать только четко сформулированные мысли и зарисовывать иллюстрационный материал (можно в упрощенном виде) для обоснования основных теоретических положений. После окончания работы с книгой целесообразно не спеша вслух прочитать записанные тезисы, включая в работу слуховую память.

3. Для расширения кругозора изучение рекомендованной дополнительной литературы необходимо сочетать с изучением основной литературы. Делать это надо тоже регулярно.

Таким образом, для качественного усвоения дисциплины, длительного запоминания и последующего воспроизведения

учебного материала необходимо использовать механизмы как зрительной, так и слуховой памяти.

3. Работа с конспектом

Конспект лекций служит основой для самостоятельного углубленного изучения дисциплины и должен составляться по определенным правилам. На первой лекции преподаватель доводит до студентов требования по оформлению конспекта, основными из которых являются:

- 1) нумерация страниц конспекта;
- 2) на первой странице конспекта должны быть указаны название дисциплины, учебная группа, фамилия, имя и отчество студента;
- 3) на второй странице – фамилия, имя и отчество преподавателей, которые проводят занятия по дисциплине, а также список литературы, необходимой для изучения дисциплины;
- 4) на третьей странице – содержание конспекта с указанием страниц, которое дополняется по мере написания конспекта;
- 5) начиная с четвертой страницы необходимо делать поля шириной 2 – 3 см, на которых указываются дата проведения лекции, принятые сокращения, ссылки на литературу и т. д.;
- 6) каждая лекция начинается с новой страницы;
- 7) конспект оформляется черными или синими чернилами, разрешается использование цветных чернил при оформлении рисунков, графиков, при подчеркивании ключевых слов, заключении в рамку формул и т. д.;

8) формулы должны записываться с новой строки посередине с указанием на полях их номера, который заключается в круглые скобки и включает в себя номер лекции и номер формулы в этой лекции, например, (1.1), (2.2), (2.3);

9) рисунки и таблицы должны быть пронумерованы с указанием номера лекции, например, рис. 2.1, рис. 2.2, табл. 2.1.

Правильное ведение конспекта создает оптимальные условия для запоминания прочитанного лектором материала. Необходимо записывать только основные положения (определения физических величин, законы, правила, принципы работы и т. д.), формулы и рисунки.

В то же время конспект лекции должен содержать как можно больше материала, чтобы в дальнейшем уменьшить трудоемкость и время изучения дисциплины при использовании рекомендованной литературы.

Существует несколько способов увеличения объема лекции.

1. Первый способ – это сокращение ключевых слов и применение условных знаков. Записывая сокращения и условные знаки на доске, преподаватель требует, чтобы студенты записывали их на полях конспекта. Как правило, ключевые слова входят в название темы. Могут применяться и сокращения других часто встречающихся слов. При сокращениях можно использовать символы или известные знаки. Например, система интернациональная – СИ, электродвижущая сила – ЭДС, коэффициент полезного действия – КПД, электромагнитные волны – ЭМВ, напряжение - U , ток – I и т. д.

К условным знакам можно отнести: больше $>$, меньше $<$, увеличивается $\uparrow$, уменьшается $\downarrow$ и т. д.

2. Второй способ – сокращение самих слов в предложениях без сокращения связующих слов. Например, принцип суперпозиции электрических полей: «Напряженность поля системы точечных зарядов равна векторной сумме напряженностей полей, создаваемых каждым зарядом в отдельности» можно записать так: «Напряж. поля сист. точ. заряд. равна вект. Σ напряж. полей, созд-х кажд. точ. зар.».

Целесообразно конспект лекции прочитать в день проведения лекции, пока свежо ее непосредственное восприятие и есть возможность восстановить по памяти не записанную важную информацию, поставить вопросы на полях и в дальнейшем проконсультироваться по ним с преподавателем.

Проработка конспекта лекций по нужной теме должна повторно производиться перед каждым лабораторным или практическим занятием.

4. Выписка из учебного распорядка и правил поведения студентов

1. О начале учебного занятия студенты извещаются звонком. Вход студентов в аудиторию после звонка запрещается.

2. Студенты обязаны выполнять лабораторные, контрольные и другие работы в сроки, установленные календарным планом. Задания, выполненные студентами с опозданием, сдаются с разрешения заведующего кафедрой..

3. Посещение студентами всех видов аудиторных учебных занятий является обязательным. При пропуске занятия в первый день явки представить в деканат справку о причинах пропуска.

4. Студент обязан бережно и аккуратно относиться к университетской собственности. Запрещается без разрешения администрации выносить принадлежности и различное оборудование из лабораторий, учебных и других помещений.

5. Студенты должны быть дисциплинированными и опрятными как в учебном заведении, так и на улице и в общественных местах. Чистота и порядок в учебных помещениях обеспечивается техническим персоналом и студентами на началах самообслуживания. Курение в помещениях университета запрещается.

6. Недопустимо применение ненормативной лексики в учебных аудиториях, учебных корпусах и на всей территории университета.

7. Студенты допускаются к экзаменационной сессии при условии сдачи всех зачетов, а также выполнении и сдаче установленных учебной программой лабораторных и контрольных работ.

8. При явке на зачеты и экзамены студенты обязаны иметь при себе зачетную книжку.

9. В случае неявки студента на экзамен в экзаменационной ведомости делается пометка «не явился». Студент, получивший на сессии неудовлетворительные оценки, а также не ликвидировавший академическую задолженность в установленные сроки, отчисляется из университета.

10. Студент обязан бережно обращаться с книгами и другими учебными пособиями, предоставляемыми ему в читальном зале библиотеки и учебном абонементе.

11. Перед уходом на летние каникулы студенты обязаны сдать все числящиеся за ними книги.

12. За хорошую успеваемость, участие в научно-исследовательской работе и активную общественную работу для студентов устанавливаются следующие меры поощрения: благодарность, награждение именным подарком, денежная премия.

За нарушение учебной дисциплины, правил внутреннего распорядка и правил проживания в общежитии к студентам может быть применено одно из следующих дисциплинарных взысканий: замечание, выговор, строгий выговор с предупреждением и, как крайняя мера, исключение из университета.

5. Организация проведения лабораторных занятий и подготовка к ним

Лабораторные занятия составляют основу практической работы студентов по дисциплине «Физика» и имеют целью углубление и закрепление теоретических положений и законов, овладение студентами методами и техникой экспериментальных исследований, оценки погрешностей измерения и анализа полученных результатов, приобретение навыков работы с лабораторным оборудованием, контрольно-измерительными приборами и вычислительной техникой.

При проведении лабораторных занятий учебная группа делится на две подгруппы, с каждой из подгрупп работает свой преподаватель в определенной половине физической лаборатории.

Деление учебной группы на две подгруппы осуществляется на первом лабораторном занятии, которое является вводным. Основные цели вводного занятия:

1) ознакомление студентов с правилами техники безопасности при работе в данной физической лаборатории;

2) разделение учебной группы на две подгруппы, ознакомление с общим списком лабораторных работ и списком последовательности выполнения работ для каждого конкретного студента;

3) ознакомление с правилами выполнения лабораторных работ и требованиями к самостоятельной подготовке к лабораторному занятию (конспекту лабораторной работы), выполнению экспериментальных измерений и оформлению отчета, защите теории к лабораторной работе.

После ознакомления с правилами техники безопасности студенты ставят свои подписи в журнале по технике безопасности той физической лаборатории, где будут проходить лабораторные занятия.

На кафедре физики имеется четыре физических лаборатории: № 304, № 305 - механики и молекулярной физики; № 307, № 308 – электричества и оптики. В каждой лаборатории имеются одинаковые лабораторные стенды или установки для выполнения лабораторной работы определенного наименования; всего 18 наименований лабораторных работ в лабораториях механики и молекулярной физики, 28 – в лабораториях электричества и оптики.

Каждая лабораторная работа выполняется студентом индивидуально по списку, сообщенному ему на вводном занятии.

Заходить в физическую лабораторию на лабораторное занятие допускается только с разрешения ведущих занятия преподавателей. Во время лабораторного занятия не допускается свободное бесцельное хождение по лаборатории, а также выход в коридор без разрешения преподавателя.

Лабораторное занятие начинается с предъявления конспекта лабораторной работы преподавателю. После этого студент знакомится с устройством своего стенда или установки. Если установка или стенд полностью готовы к работе, студент восстанавливает в памяти порядок выполнения работы, кратко излагает преподавателю методику проведения эксперимента и начинает делать измерения.

Если из приборов и устройств на стенде необходимо собрать электрическую цепь (раздел «Электричество»), **сначала надо визуально убедиться, что выключен автоматический выключатель на стенде.** Далее собрать электрическую цепь по электрической схеме и пригласить преподавателя для ее проверки. **Только с разрешения преподавателя можно подавать питание на исследуемую цепь путем включения автоматического выключателя и начинать измерения.** Если источник питания регулируемый, то перед каждым включением питания необходимо устанавливать регулятор напряжения в нулевое положение.

После выполнения измерений и записи значений измеренных величин в таблицу измерений в конспекте необходимо предъявить их преподавателю для проверки и подписи.

Оставшееся после экспериментальных измерений время используется для проведения расчетов и защиты теории к лабораторной работе по контрольным вопросам в методическом указании.

Лабораторная работа считается **выполненной**, если:

- 1) выполнены экспериментальные измерения;
- 2) защищена теория по лабораторной работе;
- 3) оформлен и подписан преподавателем отчет (включающий конспект, таблицу измеренных и рассчитанных физических величин, оценку погрешностей их измерения, графики, выводы с анализом полученных результатов).

К сдаче зачета или экзамена по физике допускаются только студенты, выполнившие полный объем лабораторных работ за семестр.

Студент, явившийся на лабораторное занятие без конспекта очередной лабораторной работы, к выполнению лабораторной работы не допускается. Студент не допускается к выполнению лабораторной работы и в случае, если у него не выполнены три и более предыдущих лабораторных работ.

6. Организация проведения практических занятий и подготовка к ним

Цель практических занятий – научить студентов применять теоретические знания и законы в конкретных случаях при решении задач. На практических занятиях по решению задач углубляется понимание физических законов, раскрываются способы, методы и специальные приемы оценки физических величин в различных моделях физических систем. Поэтому одним из основных условий плодотворной работы студентов на практических занятиях по решению задач является знание физических законов, которые рассматриваются на лекциях.

Подготовка студентов к практическим занятиям состоит в изучении лекционного материала и рекомендованной литературы по теме занятия, четкого знания определений физических величин, их единиц измерений в системе СИ, а также правил перехода от внесистемных единиц измерения в СИ.

Закрепление методик и способов решения задач, изученных на аудиторном практическом занятии, происходит при самостоятельном решении домашнего задания. Контроль усвоения физических законов и методов решения задач осуществляется путем проведения контрольных работ по основным темам курса физики либо небольшой самостоятельной работы на каждом практическом занятии.

7. Изучение дисциплины «Физика»

Физика является фундаментальной основой всех естественных и технических наук. В связи с этим дисциплина «Физика» является общепрофессиональной дисциплиной практически всех факультетов.

При изучении физики используются знания, полученные при изучении курса высшей математики, особенно следующих ее разделов: системы координат, векторная алгебра, элементы дифференциального и интегрального исчисления.

Изучая курс физики, необходимо руководствоваться программой. Нельзя ограничиваться изучением лишь тех вопросов теории, которые непосредственно связаны с выполнением контрольных работ. Рекомендуемая литература по разделам и темам курса приведена в таблице 6.1.

При подготовке к экзамену следует обратить внимание на вопросы самоконтроля, которые выдает ведущий преподаватель. Эти вопросы ориентируют студента на наиболее важные разделы программы при подготовке к экзамену.

Таблица 7.1

Наименование разделов и тем курса	Литература
Раздел «Механика»	
Кинематика	[1] ч. I, гл. 1 [2] ч. I, гл. 1
Динамика	[1] ч. I, гл. 2 – 5 [2] ч. I, гл. 2 – 6
Основы теории относительности	[1] ч. 2, § 52 [2] ч. I, гл. 7
Колебания и волны	[1] ч. I, гл. 1 [2] ч. 4, гл. 18 – 20

Раздел «Молекулярная физика. Термодинамика»	
Законы идеального газа	[1] ч. I §§ 37 – 46 [2] ч. 2, §§ 41 – 47
Процессы переноса	[1] ч. I §§ 49–52, 57 - 60 [2] ч. 2, §§ 48 – 49
Уравнение Ван-де-Ваальса.	[1] ч. I §§ 64 – 66
Критическое состояние	[2] ч. 2, §§ 60 – 65
Жидкости. Поверхностное натяжение.	[1] ч. I §§ 61 – 63
Капиллярность	[2] ч. 2, §§ 66 – 65
Первый закон термодинамики. Работа	[1] ч. I §§ 46, 71, 72
газа. Теплостойкости газа	[2] ч. 2, §§ 50 – 55
Циклы. Цикл Карно. Энтропия. Второй	[1] ч. I §§ 73 – 75
закон термодинамики	[2] ч. 2, §§ 56 – 59

Вместо наименования учебного пособия в квадратных скобках
указан его номер в списке литературы

8. Общие методические указания по самостоятельной работе и выполнению контрольных работ для студентов–очников

Основной формой подготовки студентов–заочников является самостоятельная подготовка. Она должна предшествовать выполнению контрольных работ. Основная работа по изучению курса должна быть проделана студентами до лабораторно-экзаменационной сессии. Большую ошибку допускают те студенты, которые откладывают изучение физики до сессии. В период сессии, ввиду ее непродолжительности, студент не имеет возможности для серьезной самостоятельной работы, так как все его время в этот период занято выполнением лабораторных работ, сдачей зачетов и экзаменов. Изучая курс физики, необходимо руководствоваться программой. Нельзя ограничиваться изучением лишь тех вопросов теории,

которые непосредственно связаны с выполнением контрольных работ. Предусмотренные планом лекции носят обзорный характер и вместе с лабораторными занятиями и консультациями завершают подготовку студента-заочника к экзамену. Допуском к экзамену является зачет по соответствующей части курса. Он выставляется при условии зачтения контрольных работ после самостоятельного выполнения и усвоения теоретической части лабораторных работ. Зачет по контрольным работам, прорецензированным до начала лабораторно-экзаменационной сессии, выставляется по результату устного собеседования, подтверждающего усвоение студентом вопросов учебной программы, соответствующих тематике задач.

Для успешного овладения вопросами учебной программы при подготовке к экзамену, зачету, выполнению контрольной или лабораторной работы необходимо придерживаться определенной методики этой работы. Одна из простейших заключается в систематическом ведении компактного по формату и объему конспекта. Важнейшим элементом этой методики является принцип: **запись в конспекте делается при закрытом учебнике, без заглядывания в него и без переписывания.** В конспекте в предельно краткой форме записываются (после прочтения параграфов, касающихся данного физического явления) ответы на три вопроса:

- 1) краткое описание явления, поясняемое схемой, если это уместно;
- 2) определение физических величин и понятий, связанных с изучаемым явлением;

3) словесная и математическая формулировка законов или закономерностей, устанавливающих взаимосвязь физических величин в изучаемом явлении.

Очевидно, что настрой на ведение конспекта по изложенному принципу ориентирует уже при первом чтении учебного материала на четкое выделение и уяснение главного существа вопроса, сформулированного в приведенных трех пунктах. Это обстоятельство и обеспечивает экономию времени на учебную работу, несмотря на затраты времени при ведении записей в конспекте. Очень полезно периодически перечитывать эти краткие записи и проводить «мысленный эксперимент» с аналитическими зависимостями, выписанными в конспект. Для этого нужно задаться вопросом о том, как изменится та или иная зависимая величина при изменении в то или иное количество раз каких-либо независимых (или относительно независимых) величин. Разумеется, для данной величины необходимо знать численное значение (а для векторных величин необходимо знать и направление). Для такой работы не нужно выбирать специальное время. Следует использовать каждую свободную минуту, вплоть до поездок в городском транспорте и т.п. В конспект можно также записать вопросы, по которым нужно проконсультироваться в университете у преподавателя.

Предложенная методика самостоятельной работы в сочетании с изучением примеров решения задач позволит вам самостоятельно применить законы и закономерности физики практически, в решении задач контрольных работ. **Умение решать задачи – это основной критерий усвоения учебного материала.**

Решение любой задачи целесообразно выполнять в следующем порядке:

1. Уяснить существо физического процесса, составить схему.
2. Уяснить (и указать в решении), какие законы или закономерности следует использовать в решении задач.
3. Составить и решить уравнение (или систему уравнений) в общем виде.
4. Перевести известные числовые данные в систему СИ.
5. Проверить расчетную формулу искомой величины анализом размерности единиц, подставляемых для ее вычисления.
6. Выполнить подстановку числовых значений физических величин и вычислить искомую величину.

Изложенные методические принципы не исключают возможности консультации студентов по решениям тех или иных задач, если такая необходимость возникает. Возможны также письменные запросы, адресованные кафедре физики. В последнем случае на кафедру вместе с письмом, содержащим просьбу о консультации по задаче, следует приложить текст с выписанным полностью условием задачи.

При подстановке, в ходе вычислений и при записи окончательного результата следует числа записывать, как правило, в виде единиц, умноженных на соответствующие степени основания 10, используя три значащие цифры с учетом правил округления. Например, число 0,0012873 следует записать $1,29 \cdot 10^{-3}$, а число 78336000 следует записать $7,83 \cdot 10^7$. Такая запись упрощает вычисления, т.к. степенные сомножители, определяющие порядок

величины, легко отдельно привести к результирующей степени, а вычисления вести только с числовыми сомножителями.

Например:
$$\frac{1,29 \cdot 10^{-3} \cdot 7,83 \cdot 10^7}{3,62 \cdot 10^2 \cdot 2,37 \cdot 10^{-4}} = \frac{1,29 \cdot 7,83}{3,62 \cdot 2,37} \cdot 10^6 = 1,18 \cdot 10^6$$

.

Результирующая степень при основании 10

$$10^{-3} \cdot 10^{+7} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{+4} = 10^{-3+7-2+4} = 10^6.$$

9. Учебные материалы по разделам курса физики

9.1 Физические основы механики

ОСНОВНЫЕ ФОРМУЛЫ

- Кинематическое уравнение движения материальной точки (центра масс твёрдого тела) вдоль оси X:

$$x = f(t),$$

где $f(t)$ – некоторая функция времени.

- Средняя скорость:

$$\langle v_x \rangle = \frac{\Delta x}{\Delta t}.$$

- Средняя путевая скорость:

$$\langle v \rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t},$$

где Δs – путь, пройденный точкой за интервал времени Δt .

Путь Δs в отличие от разности координат $\Delta x = x_2 - x_1$ не может убывать и принимать отрицательные значения, т. е. $\Delta s \geq 0$.

- Мгновенная скорость:

$$v_x = \frac{dx}{dt}.$$

- Среднее ускорение:

$$\langle a_x \rangle = \frac{\Delta v_x}{\Delta t}.$$

- Мгновенное ускорение:

$$a(x) = \frac{dv_x}{dt}.$$

- Кинематическое уравнение движения материальной точки по окружности:

$$\varphi = f(t), \quad r = R = \text{const}.$$

- Угловая скорость:

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}.$$

- Угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}.$$

- Связь между линейными и угловыми величинами, характеризующими движение точки по окружности:

$$v = \omega R, \quad a_\tau = \varepsilon R, \quad a_n = \omega^2 R,$$

где v – линейная скорость;

ω – угловая скорость;

a_τ и a_n – тангенциальное и нормальное ускорения;

ε – угловое ускорение;

R – радиус окружности.

- Полное ускорение:

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2} \quad \text{или} \quad a = R\sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}.$$

- Угол между полным a и нормальным a_n ускорениями:

$$\alpha = \arccos(a_n / a).$$

- Кинематическое уравнение гармонических колебаний материальной точки:

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

где x – смещение;

A – амплитуда колебаний;

ω – круговая, или циклическая частота;

φ – начальная фаза.

- Скорость и ускорение материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$v = -A\omega \sin(\omega t + \varphi),$$

$$a = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi).$$

- Сложение гармонических колебаний одного направления и одинаковой частоты:

а) амплитуда результирующего колебания

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)};$$

б) начальная фаза результирующего колебания

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{A_1 \sin \varphi_1 + A_2 \sin \varphi_2}{A_1 \cos \varphi_1 + A_2 \cos \varphi_2}.$$

- Траектория точки, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях

$$(x = A_1 \cos \omega t, \quad y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)):$$

а) $y = (A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = 0$);

б) $y = -(A_2 / A_1)x$ (если разность фаз $\varphi = \pm \pi$);

в) $x^2|A_1^2 + y^2|A_2^2 = I$ (если разность фаз $\varphi = \pm \pi / 2$).

- Уравнение плоской бегущей волны:

$$y = A \cos \omega(t - x/v),$$

где y – смещение любой из точек среды с координатой x в момент t ;

v – скорость распространения колебаний в среде.

- Связь разности фаз $\Delta\varphi$ колебаний с расстоянием Δx между точками среды, отсчитанным в направлении распространения колебаний:

$$\Delta\varphi = (2\pi / \lambda)\Delta x,$$

где λ – длина волны.

- Импульс материальной точки массой m , движущейся поступательно со скоростью v :

$$p = mv.$$

- Второй закон Ньютона:

$$dp = Fdt,$$

где F – сила, действующая на тело.

- Силы, рассматриваемые в механике:

а) сила упругости

$$F = kx,$$

где k – коэффициент упругости (в том случае пружины – жесткость);

x – абсолютная деформация;

б) сила тяжести

$$P = mg ;$$

в) сила гравитационного взаимодействия

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} ,$$

где G – гравитационная постоянная;

m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел;

r – расстояние между телами (тела рассматриваются как материальные точки).

В случае гравитационного взаимодействия силу можно выразить также через напряженность G гравитационного поля:

$$F = mG ;$$

г) сила трения (скольжения)

$$F = fN ,$$

где f – коэффициент трения;

N – сила нормального давления.

- Закон сохранения импульса:

$$\sum_{i=1}^N p_i = const ,$$

или для двух тел ($i=2$):

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 u_1 + m_2 u_2 ,$$

где v_1 и v_2 – скорости тел в момент времени, принятый за начальный;

u_1 и u_2 – скорости тех же тел в момент времени, принятый за конечный.

- Кинетическая энергия тела, движущегося поступательно:

$$T = mv^2/2, \quad \text{или} \quad T = p^2/(2m).$$

- Потенциальная энергия:

а) упругодеформированной пружины

$$\Pi = \frac{kx^2}{2},$$

где k – жесткость пружины;

x – абсолютная деформация;

б) гравитационного взаимодействия

$$\Pi = -Gm_1m_2/r,$$

где G – гравитационная постоянная;

m_1 и m_2 – массы взаимодействующих тел;

r – расстояние между ними (тела рассматриваются как материальные точки).

в) тела, находящегося в однородном поле силы тяжести,

$$\Pi = mgh,$$

где g – ускорение свободного падения;

h – высота тела над уровнем, принятым за нулевой (формула справедлива при условии $h \ll R$,

где R – радиус Земли).

- Закон сохранения механической энергии:

$$E = T + \Pi = \text{const}.$$

- Работа A , совершаемая внешними силами, определяется как мера изменения энергии системы:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

- Основное уравнение динамики вращательного движения относительно неподвижной оси z :

$$M_z = J_z \varepsilon,$$

где M_z – результирующий момент внешних сил

относительно оси z , действующих на тело;

ε – угловое ускорение;

J_z – момент инерции тела относительно оси вращения.

- Моменты инерции некоторых тел массой m относительно оси z , проходящей через центр масс:

а) стержня длиной l относительно оси, перпендикулярной стержню,

$$J_z = \frac{1}{12} ml^2;$$

б) обруча (тонкостенного цилиндра) относительно оси, перпендикулярной плоскости обруча (совпадающей с осью цилиндра),

$$J_z = mR^2,$$

где R – радиус обруча (цилиндра);

в) диска радиусом R относительно оси, перпендикулярной плоскости диска,

$$J_z = \frac{1}{2} mR^2.$$

- Момент импульса тела, вращающегося относительно неподвижной оси z :

$$L_z = J_z \omega ,$$

где ω – угловая скорость тела.

- Закон сохранения момента импульса системы тел, вращающихся вокруг неподвижной оси:

$$J_1 \omega_1 = J_2 \omega_2 ,$$

где J_1, ω_1 и J_2, ω_2 – моменты инерции системы тел и угловые скорости вращения в моменты времени, принятые за начальный и конечный.

- Кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси z :

$$T = \frac{1}{2} J_z \omega^2 , \text{ или } T = L_z^2 / (2J_z) .$$

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ПРИМЕР 1. Уравнение движения материальной точки вдоль оси имеет вид $x = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2$ м, $B = 1$ м/с, $C = -0,5$ м/с³. Найти координату x , скорость v и ускорение a точки в момент времени $t = 2$ с.

РЕШЕНИЕ. Координату x найдем; подставив в уравнение движения числовые значения коэффициентов A , B и C и времени t .

$$x = (2 + 1 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2^3) \text{ м} = 0.$$

Мгновенная скорость есть первая производная от координаты по времени:

$$v = \frac{dx}{dt} = B + 3Ct^2.$$

Ускорение точки найдем, взяв первую производную от скорости по времени:

$$a = \frac{dv}{dt} = 6Ct.$$

В момент времени $t = 2$ с:

$$v = (1 - 3 \cdot 0,5 \cdot 2^2) \text{ м/с} = -5 \text{ м/с},$$

$$a = 6(-0,5) \cdot 2 \text{ м/с}^2 = -6 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $x = 0$ м; $v = -5$ м/с; $a = -6$ м/с².

ПРИМЕР 2. Тело вращается вокруг неподвижной оси по закону $\varphi = A + Bt + Ct^2$, где $A = 10$ рад, $B = 20$ рад/с, $C = -2$ рад/с². Найти полное ускорение точки, находящейся на расстоянии $r = 0,1$ м от оси вращения, для момента времени $t = 4$ с.

РЕШЕНИЕ. Полное ускорение a точки, движущейся по кривой линии, может быть найдено как геометрическая сумма тангенциального ускорения a_τ , направленного по касательной к траектории, и нормального ускорения a_n , направленного к центру кривизны траектории (рисунок 2):

$$a = a_\tau + a_n.$$

Так как векторы a_τ и a_n взаимно перпендикулярны, то модуль ускорения

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} \quad (1)$$

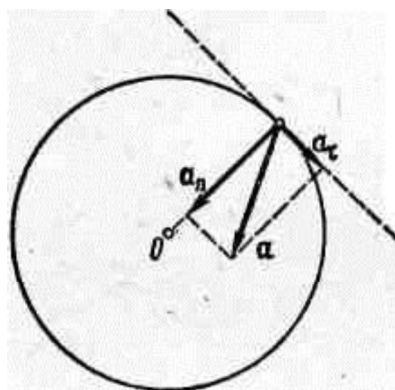


Рисунок 2

Тангенциальное и нормальное ускорения точки вращающегося тела выражаются формулами:

$$a_\tau = \varepsilon r, \quad a_n = \omega^2 r, \quad (2)$$

где ω – угловая скорость тела;
 ε – его угловое ускорение.

Подставляя выражения a_τ и a_n в формулу (1), находим

$$a = \sqrt{\varepsilon^2 r^2 + \omega^4 r^2} = r \sqrt{\varepsilon^2 + \omega^4}. \quad (3)$$

Угловую скорость ω найдем, взяв первую производную угла поворота по времени:

$$\omega = d\varphi / dt = B + 2Ct .$$

В момент времени $t = 4$ с угловая скорость.

$$\omega = [20 + 2(-2)4] \text{ рад/с} = 4 \text{ рад/с}.$$

Угловое ускорение найдем, взяв первую производную от угловой скорости по времени:

$$\varepsilon = d\omega / dt = 2C = -4 \text{ рад/с}^2.$$

Подставляя значения ω , ε и r в формулу (2), получаем

$$a = 0,1 \sqrt{(-4)^2 + 4^4} \text{ м/с}^2 = 1,65 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 1,65 \text{ м/с}^2$.

ПРИМЕР 3. Ящик массой $m_1 = 20$ кг соскальзывает по идеально гладкому лотку длиной $l = 2$ м на неподвижную тележку, с песком и застревает в нем. Тележка с песком массой $m_2 = 80$ кг может свободно (без трения) перемещаться по рельсам в горизонтальном направлении. Определить скорость и тележки с ящиком, если лоток наклонен под углом $\alpha = 30^\circ$ к рельсам.

РЕШЕНИЕ. Тележку и ящик можно рассматривать как систему двух неупруго взаимодействующих тел. Но эта система не замкнута, так как сумма внешних сил, действующих на систему [сил тяжести m_1g и m_2g и

»»

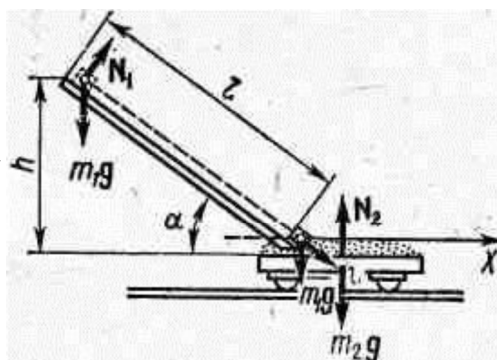


Рисунок 3

силы реакции N_2 (рисунок 3)], не равна нулю. Поэтому применить закон сохранения импульса к системе ящик - тележка нельзя. Но так как проекция суммы указанных сил на направление оси X , совпадающей с направлением рельсов, равна нулю, то проекцию импульса системы на это направление можно считать постоянной, т. е.

$$p_{1x} + p_{2x} = p'_{1x} + p'_{2x}, \quad (1)$$

где p_{1x} и p_{2x} – проекции импульса ящика и тележки с песком в момент падения ящика на тележку;

p'_{1x} и p'_{2x} – те же величины после падения ящика.

Выразим в равенстве (1) импульсы тел через их массы и скорости, учитывая, что $p_{2x} = 0$ (тележка до взаимодействия с ящиком покоилась), а также что после взаимодействия оба тела системы движутся с одной и той же скоростью u :

$$m_1 v_{1x} = (m_1 + m_2) u,$$

или
$$m_1 v_1 \cos \alpha = (m_1 + m_2) u,$$

где v_1 – скорость ящика перед падением на тележку;

$v_{1x} = v_1 \cos \alpha$ – проекция этой скорости на ось X .

Отсюда

$$u = m_1 v_1 \cos \alpha / (m_1 + m_2). \quad (2)$$

Скорость v_1 определим из закона сохранения энергии:

$$m_1 g h = 1/2 m_1 v_1^2,$$

где $h = l \sin \alpha$, откуда

$$v_1 = \sqrt{2gl \sin \alpha}.$$

Подставив выражение v_1 в формулу (2), получим

$$u = m_1 \sqrt{2gl \sin \alpha \cos \alpha / (m_1 + m_2)}.$$

После вычислений найдем

$$u = \frac{20 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 2 \cdot \sin 30^\circ}}{20 + 80} \cos 35^\circ \text{ м/с} = 0,2 \sqrt{19,6 \cdot 0,867} \text{ м/с} =$$

$$= 0,767 \text{ м/с}.$$

Ответ: $u = 0,767 \text{ м/с}$.

ПРИМЕР 4. При выстреле из пружинного пистолета вертикально вверх пуля массой $m = 20 \text{ г}$ поднялась на высоту $h = 5 \text{ м}$. Определить жесткость k пружины пистолета, если она была сжата на $x = 10 \text{ см}$. Массой пружины пренебречь.

РЕШЕНИЕ. Система пуля–Земля (вместе с пистолетом) является замкнутой системой, в которой действуют консервативные силы – силы упругости и силы тяготения. Поэтому для решения задачи можно применить закон сохранения энергии в механике. Согласно ему полная механическая энергия E_1 системы в начальном состоянии (в данном случае перед выстрелом) равна полной энергии E_2 в конечном состоянии (когда пуля поднялась на высоту h , т. е.

$$E_1 = E_2 \text{ или } T_1 + \Pi_1 = T_2 + \Pi_2, \quad (1)$$

где T_1, T_2, Π_1 и Π_2 – кинетические и потенциальные энергии системы в начальном и конечном состояниях.

Так как кинетические энергии пули в начальном и конечном состояниях равны нулю, то равенство (1) примет вид

$$\Pi_1 = \Pi_2. \quad (2)$$

Если потенциальную энергию в поле сил тяготения Земли на ее поверхности принять равной нулю, то энергия системы в начальном состоянии будет равна потенциальной энергии сжатой пружины, т. е. $\Pi_1 = \frac{1}{2} kx^2$, а в конечном состоянии – потенциальной энергии пули на высоте h , т. е. $\Pi_2 = mgh$.

Подставив выражения Π_1 и Π_2 в формулу (2), найдем

$$\frac{1}{2} kx^2 = mgh, \text{ откуда}$$

$$k = 2mgh / x^2. \quad (3)$$

Проверим, дает ли полученная формула единицу жесткости k . Для этого в правую часть формулы (3) вместо величин, подставим их единицы в системе СИ:

$$\frac{[m][g][h]}{[x]^2} = \frac{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} \cdot 1 \text{ м}}{1 \text{ м}^2} = \frac{1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Н} / \text{м}.$$

Убедившись, что полученная единица является единицей жесткости (1 Н/м), подставим в формулу (3) значения величин и произведем вычисления:

$$k = \frac{2 \cdot 0,02 \cdot 9,81 \cdot 5}{(0,1)^2} \text{ Н / м} = 196 \text{ Н / м}.$$

Ответ: $k = 196 \text{ Н/м}$.

ПРИМЕР 5. Шар массой m_1 движущийся горизонтально с некоторой скоростью v_1 , столкнулся с неподвижным шаром массой m_2 . Шары абсолютно упругие, удар прямой, центральный. Какую долю в своей кинетической энергии первый шар передал второму?

РЕШЕНИЕ. Доля энергии, переданной первым шаром второму, выразится соотношением

$$\varepsilon = \frac{T_2}{T_1} = \frac{m_2 u_2^2}{m_1 v_1^2} = \frac{m_2}{m_1} \left(\frac{u_2}{v_1} \right)^2, \quad (1)$$

где T_1 – кинетическая энергия первого шара до удара;

u_2 и T_2 – скорость и кинетическая энергия второго шара после удара.

Как видно из формулы (1), для определения ε надо найти u_2 . При ударе абсолютно упругих тел одновременно выполняются законы сохранения импульса и механической энергии. Пользуясь этими законами, найдем:

$$m_1 v_1 = m_1 u_1 + m_2 u_2; \quad (2)$$

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2}. \quad (3)$$

Решим совместно уравнения (2) и (3):

$$u_2 = \frac{2m_1 v_1}{m_1 + m_2}.$$

Подставив это выражение u_2 в формулу (1) и сократив на v_1 и m_1 , получим

$$\varepsilon = \frac{m_2}{m_1} \left[\frac{2m_1 v_1}{v_1 (m_1 + m_2)} \right]^2 = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}.$$

Из найденного соотношения видно, что доля переданной энергии зависит только от масс сталкивающихся шаров. Доля передаваемой энергии не изменится, если шары поменять местами.

ПРИМЕР 6. Через блок в виде сплошного диска, имеющего массу $m = 80$ г (рисунок 4), перекинута тонкая гибкая нить, к концам которой подвешены грузы с массами $m_1 = 100$ г и $m_2 = 200$ г. Определить ускорение, с которым будут двигаться грузы, если их предоставить самим себе? Трением и массой нити пренебречь.

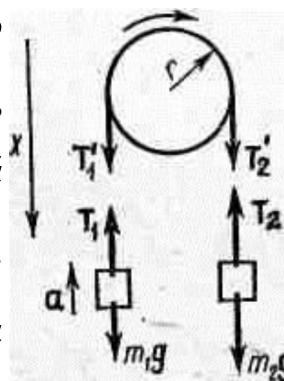


Рисунок 4

РЕШЕНИЕ. Воспользуемся основными уравнениями динамики поступательного и вращательного движений. Для этого рассмотрим силы, действующие на каждый груз в отдельности и на блок. На первый груз действуют две силы: сила тяжести $m_1 g$ и сила упругости (сила натяжения нити) T_1 . Спроецируем эти силы на ось X , которую направим вертикально вниз, и напишем уравнение движения (второй закон Ньютона):

$$m_1 g - T_1 = m_1 a .$$

Уравнение движения для второго груза:

$$m_2 g - T_2 = m_2 a .$$

Под действием двух моментов сил $T_1' r$ и $T_2' r$ относительно оси, перпендикулярной плоскости чертежа, блок приобретает угловое ускорение ε . Согласно основному уравнению динамики вращательного движения.

$$T_2' r - T_1' r = J_z \varepsilon , \quad (3)$$

где $\varepsilon = a / r$, $J_z = \frac{1}{2} m r^2$ – момент инерции блока (сплошного диска) относительно оси Z.

Согласно третьему закону Ньютона $T_1' = T_1$, $T_2' = T_2$.

Воспользовавшись этим, подставим в уравнение (3) вместо T_1' и T_2' выражения T_1 и T_2 , получив их предварительно из уравнений (1) и (2):

$$(m_2 g - m_2 a) r - (m_1 g + m_1 a) r = m r^2 a / (2 r) .$$

После сокращения на r и перегруппировки членов найдем

$$a = \frac{m_2 - m_1}{m_2 + m_1 + m / 2} g . \quad (4)$$

Отношение масс в правой части формулы (4) есть величина безразмерная. Поэтому массы m_1 , m_2 и m можно выразить в граммах, как они даны в условии задачи. Ускорение g надо выразить в единицах СИ. После подстановки получим

$$a = \frac{(200-100)z}{(200+100+80/2)z} \cdot 9,81 \text{ м/с}^2 = 2,88 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: $a = 2,88 \text{ м/с}^2$.

ПРИМЕР 7. Маховик в виде сплошного диска радиусом $R = 0,2 \text{ м}$ и массой $m = 50 \text{ кг}$ раскручен до частоты $n_1 = 480 \text{ мин}^{-1}$ и предоставлен сам себе. Под действием сил трения маховик остановился через $t = 50 \text{ с}$. Найти момент M сил трения.

РЕШЕНИЕ. Для решения задачи воспользуемся основным уравнением динамики вращательного движения в виде

$$dL_z = M_z dt, \quad (1)$$

где dL_z – изменение момента импульса маховика, вращающегося относительно оси Z , совпадающей с геометрической осью маховика, за интервал времени dt ;

M_z – момент внешних сил (в данном случае момент сил трения), действующих на маховик относительно той же оси.

Момент сил трения можно считать не изменяющимся с течением времени ($M_z = \text{const}$), поэтому интегрирование уравнения (1) приводит к выражению

$$\Delta L_z = M_z \Delta t. \quad (2)$$

При вращении твердого тела относительно неподвижной оси изменение момента импульса

$$\Delta L_z = J_z \Delta \omega, \quad (3)$$

где J_z – момент инерции маховика относительно оси Z ;

$\Delta\omega$ – изменение угловой скорости маховика.

Приравняв правые части равенств (2) и (3), получим
 $M_z \Delta t = J_z \Delta\omega$, откуда

$$M_z = J_z \Delta\omega / \Delta t . \quad (4)$$

Момент инерции маховика в виде сплошного диска определяется по формуле

$$J_z = \frac{1}{2} m R^2 .$$

Изменение угловой скорости $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ выразим через конечную n_2 и начальную n_1 частоты вращения, пользуясь соотношением $\omega = 2\pi n$:

$$\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1 = 2\pi n_2 - 2\pi n_1 = 2\pi(n_2 - n_1) .$$

Подставив в формулу (4) выражения J_z и $\Delta\omega$, получим

$$M_z = \pi m R^2 (n_2 - n_1) / \Delta t . \quad (5)$$

Проверим, дает ли расчетная формула единицу момента силы. Для этого в правую часть формулы вместо символов величин подставим их единицы:

$$\frac{[m][R^2][n]}{[t]} = \frac{кг \cdot м^2 \cdot с^{-1}}{с} = кг \cdot м \cdot с^{-2} \cdot м = 1Н \cdot м .$$

Найденная единица $(1Н \cdot м)$ является единицей момента силы. Подставим в (5) числовые значения величин и произведем вычисления, учитывая, что

$$n_1 = 480 \text{ мин}^{-1} = 480 / 60 \text{ с}^{-1} = 8 \text{ с}^{-1} :$$

$$M_z = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot (0,2)^2 \cdot (0 - 8)}{50} H \cdot m = -1 H \cdot m .$$

Знак «минус» показывает, что силы трения оказывают на маховик тормозящее действие.

Ответ: $M_z = -1 H \cdot m$.

ПРИМЕР 8. Платформа в виде сплошного диска радиусом $R = 1,5 \text{ м}$ и массой $m_1 = 180 \text{ кг}$ вращается по инерции около вертикальной оси с частотой $n = 10 \text{ мин}^{-1}$. В центре платформы стоит человек массой $m_2 = 60 \text{ кг}$. Какую линейную скорость v относительно пола помещения будет иметь человек, если он перейдет на край платформы?

РЕШЕНИЕ. Платформа вращается по инерции. Следовательно, момент внешних сил относительно оси вращения Z , совпадающей с геометрической осью платформы, равен нулю. При этом условии момент импульса L_z системы платформа – человек остается постоянным:

$$L_z = J_z \omega = \text{const} , \quad (1)$$

где J_z – момент инерции платформы с человеком относительно оси Z ;

ω – угловая скорость платформы.

Момент инерции системы равен сумме моментов инерции тел, входящих в состав системы, поэтому $J_z = J_1 + J_2$,

где J_1 и J_2 – моменты инерции платформы и человека.

С учетом этого равенство (1) примет вид

$$(J_1 + J_2)\omega = \text{const},$$

или

$$(J_1 + J_2)\omega = (J_1' + J_2')\omega',$$

где значения моментов инерции J_1 и J_2 относятся к начальному состоянию системы; J_1' и J_2' — к конечному.

Момент инерции платформы относительно оси Z при переходе человека не изменяется: $J_1 = J_1' = \frac{1}{2}m_1R^2$. Момент инерции человека относительно той же оси будет изменяться. Если рассматривать человека как материальную точку, то его момент инерции J_2 в начальном положении (в центре платформы) можно считать равным нулю. В конечном положении (на краю платформы) момент инерции человека $J_2' = m_2R^2$.

Подставим в формулу (2) выражения моментов инерции, начальной угловой скорости вращения платформы с человеком ($\omega = 2\pi n$) и конечной угловой скорости ($\omega' = v/R$, где v – скорость человека относительно пола):

$$\left(\frac{1}{2}m_1R^2 + 0\right)2\pi n = \left(\frac{1}{2}m_1R^2 + m_2R^2\right)v/R.$$

После сокращения на R^2 и простых преобразований находим скорость

$$v = 2\pi n R m_1 / (m_1 + 2m_2).$$

Произведем вычисления:

$$v = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot \frac{1}{6} \cdot 1,5 \cdot 180}{180 + 2 \cdot 60} \text{ м/с} = 1 \text{ м/с}.$$

Ответ: $v = 1 \text{ м/с}$.

ПРИМЕР 9. *Ракета установлена на поверхности Земли для запуска в вертикальном направлении. При какой минимальной скорости v_1 сообщенной ракете при запуске, она удалится от поверхности на расстояние, равное радиусу Земли ($R = 6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$)? Всеми силами, кроме силы гравитационного взаимодействия ракеты и Земли, пренебречь.*

РЕШЕНИЕ. Минимальную скорость ракеты можно найти, зная ее минимальную кинетическую энергию T_1 . Для определения T_1 воспользуемся законом сохранения механической энергии. Этот закон выполняется для замкнутой системы тел, в которой действуют только консервативные силы. Систему ракета – Земля можно считать замкнутой. Единственная сила, действующая на систему, – гравитационная относится к разряду консервативных.

В качестве системы отсчета выберем инерциальную систему отсчета, так как только в такой системе справедливы законы динамики и, в частности, законы сохранения. Известно, что система отсчета, связанная с центром масс замкнутой системы тел, является инерциальной. В данном случае центр масс системы ракета – Земля

практически совпадает с центром Земли, так как масса Земли M много больше массы ракеты m . Следовательно, систему отсчета, связанную с центром Земли, можно считать инерциальной. Согласно закону сохранения механической энергии

$$T_1 + \Pi_1 = T_2 + \Pi_2, \quad (1)$$

где T_1 , Π_1 и T_2 , Π_2 – кинетическая и потенциальная энергии системы ракета – Земля в начальном (на поверхности Земли) и конечном (на расстоянии, равном радиусу Земли) состояниях.

В выбранной системе отсчета кинетическая энергия Земли равна нулю. Поэтому T_1 есть просто начальная кинетическая энергия ракеты:

$$T_1 = \frac{1}{2} m v_1^2.$$

Потенциальная энергия системы в начальном состоянии

$$\Pi_1 = -GmM / R.$$

По мере удаления ракеты от поверхности Земли ее потенциальная энергия возрастает, а кинетическая – убывает. В конечном состоянии кинетическая энергия T_2 станет равной нулю, а потенциальная энергия достигнет максимального значения:

$$\Pi_2 = -GmM / (2R).$$

Подставляя выражения T_1 , Π_1 , T_2 и Π_2 в (1), получаем

$$mv_1^2 / 2 - GmM / R = -GmM / (2R),$$

откуда

$$v_1 = \sqrt{GM/R}.$$

Заметив, что $GM/R^2 = g$ (g – ускорение свободного падения у поверхности Земли), перепишем эту формулу в виде

$$v_1 = \sqrt{gR},$$

что совпадает с выражением для первой космической скорости.

Произведем вычисления:

$$v_1 = \sqrt{9,8 \cdot 6,37 \cdot 10^6} \text{ м/с} = 7,9 \text{ км/с}.$$

Ответ: $v_1 = 7,9 \text{ км/с}$.

ПРИМЕР 10. Точка совершает гармонические колебания с частотой $\nu = 10$ Гц. В момент, принятый за начальный, точка имела максимальное смещение: $x_{\max} = 1$ мм. Написать уравнение колебаний точки.

РЕШЕНИЕ. Уравнение колебаний точки можно записать в виде

$$x = A \sin(\omega t + \varphi_1), \quad (1)$$

или

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_2), \quad (2)$$

где A – амплитуда колебаний;

ω – циклическая частота;

t – время;

φ_1 и φ_2 – начальные фазы, соответствующие форме записи (1) или (2).

По определению, амплитуда колебаний

$$A = x_{max}. \quad (3)$$

Циклическая частота ω связана с частотой ν соотношением

$$\omega = 2 \pi \nu. \quad (4)$$

Начальная фаза колебаний зависит от формы записи. В момент времени $t = 0$ принимает вид

$$x_{max} = A \sin \varphi_1,$$

откуда начальная фаза

$$\varphi_1 = \arcsin(x_{max} / A) = \arcsin 1,$$

или

$$\varphi_1 = (2k + 1)\pi / 2 \quad (k = 0, 1, 2, \dots).$$

Изменение фазы на 2π не изменяет состояния колебательного движения, поэтому можно принять

$$\varphi_1 = \pi / 2. \quad (5)$$

При использовании формулы (2) для записи уравнения колебаний получаем

$$\varphi_2 = \arccos(x_{max} / A) = \arccos 1,$$

или

$$\varphi_2 = 2 \pi k \quad (k = 0, 1, 2, 3, \dots).$$

Аналогично находим

$$\varphi_2 = 0. \quad (6)$$

С учетом равенств (3) – (6) уравнения колебаний примут вид

$$x = A \sin(2\pi \nu t + \varphi),$$

или

$$x = A \cos 2\pi \nu t,$$

где $A=1\text{ мм}=10^{-3}\text{ м}$; $\nu=10\text{ Гц}$; $\varphi=\pi/2$.

Ответ: $x=A\cos 2\pi \nu t$.

ПРИМЕР 11. Частица массой $m = 0,01\text{ кг}$ совершает гармонические колебания с периодом $T = 2\text{ с}$. Полная энергия колеблющейся частицы $E = 0,1\text{ мДж}$. Определить амплитуду A колебаний и наибольшее значение силы $F_{\max}$, действующей на частицу.

РЕШЕНИЕ. Для определения амплитуды колебаний воспользуемся выражением полной энергии частицы:

$$E = \frac{1}{2} m \omega^2 A^2,$$

где $\omega = 2\pi / T$.

Отсюда амплитуда

$$A = \frac{T}{2\pi} \sqrt{\frac{2E}{m}}. \quad (1)$$

Так как частица совершает гармонические колебания, то сила, действующая на нее, является квазиупругой и, следовательно, может быть выражена соотношением $F = -kx$,

где k — коэффициент квазиупругой силы;

x — смещение колеблющейся точки.

Максимальной сила будет при максимальном смещении $x_{\max}$, равном амплитуде:

$$F_{\max} = kA. \quad (2)$$

Коэффициент k выразим через период колебаний:

$$k = m\omega^2 = m \cdot 4\pi^2 / T^2. \quad (3)$$

Подставив выражения k и A в (2) и производя упрощения, получим

$$F_{\max} = 2\pi\sqrt{2mE/T}.$$

Произведем вычисления:

$$A = \frac{2}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-2}}} \text{ м} = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм};$$

$$F_{\max} = \frac{2 \cdot 3,14}{2} \sqrt{2 \cdot 10^{-2} \cdot 10^{-4}} \text{ Н} = 4,44 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 4,44 \text{ мН}.$$

Ответ: $A = 0,045 \text{ м} = 45 \text{ мм}$; $F_{\max} = 4,44 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 4,44 \text{ мН}$.

9.2 Молекулярная физика. Термодинамика

- Количество вещества однородного газа (в молях)

$$\nu = \frac{N}{N_A}, \text{ или } \nu = \frac{m}{M},$$

где N – число молекул газа;
 N_A – постоянная Авогадро;
 m – масса газа;
 M – молярная масса газа.

Если система представляет смесь нескольких газов, то количество вещества системы

$$\nu = \nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n = \frac{N_1}{N_A} + \frac{N_2}{N_A} + \dots + \frac{N_n}{N_A},$$

или
$$\nu = \frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} + \dots + \frac{m_n}{M_n},$$

где ν_i, N_i, m_i, M_i – соответственно количество вещества, число молекул, масса, молярная масса i – й компоненты смеси.

- Уравнение Менделеева – Клапейрона (уравнение состояния идеального газа):

$$pV = \frac{m}{M}RT = \nu RT,$$

где m – масса газа;
 M – молярная масса газа;
 R – молярная газовая постоянная;
 ν – количество вещества;
 T – термодинамическая температура.

- Опытные газовые законы, являющиеся частными случаями уравнения Менделеева – Клапейрона для изопроцессов:

а) закон Бойля – Мариотта (изотермический процесс $T = const, m = const$):

$$pV = const ,$$

или для двух состояний газа:

$$p_1V_1 = p_2V_2 ,$$

б) закон Гей-Люссака (изобарный процесс – $p = const, m = const$):

$$\frac{V}{T} = const ,$$

или для двух состояний:

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

в) закон Шарля (изохорный процесс – $V = const, m = const$):

$$\frac{p}{T} = const$$

или для двух состояний:

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

г) объединенный газовый закон ($m = const$):

$$\frac{pV}{T} = const , \text{ или } \frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2} ,$$

где p_1, V_1, T_1 – давление, объем и температура газа в начальном состоянии;

p_2, V_2, T_2 — те же величины в конечном состоянии.

- Закон Дальтона, определяющий давление смеси газов:

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

где p_i — парциальные давления компонентов смеси;

n — число компонентов смеси.

Парциальным давлением называется давление газа, которое производил бы этот газ, если бы только он один находился в сосуде, занятом смесью.

- Молярная масса смеси газов:

$$M = (m_1 + m_2 + \dots + m_n) / (\nu_1 + \nu_2 + \dots + \nu_n),$$

где m_i — масса i -го компонента смеси;

$\nu_i = m_i / M$ — количество вещества i -го компонента смеси;

n — число компонентов смеси.

- Массовая доля ω_i i -го компонента смеси газа (в долях единицы или процентах):

$$\omega_i = m_i / m,$$

где m — масса смеси.

- Концентрация молекул:

$$n = N / V = N_A \rho / M,$$

где N — число молекул, содержащихся в данной системе;

ρ — плотность вещества,

V — объем системы.

Формула справедлива не только для газов, но и для любого агрегатного состояния вещества.

- Основное уравнение кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_n \rangle,$$

где $\langle \varepsilon_n \rangle$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы.

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекулы:

$$\langle \varepsilon_n \rangle = \frac{3}{2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана.

- Средняя полная кинетическая энергия молекулы:

$$\langle \varepsilon_i \rangle = \frac{i}{2} kT,$$

где i – число степеней свободы молекулы.

- Зависимость давления газа от концентрации молекул и температуры:

$$p = nkT.$$

- Скорости молекул:

$$\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_i}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \text{ – (средняя квадратичная);}$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_i}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} \text{ – (средняя арифметическая);}$$

$$v_B = \sqrt{\frac{2kT}{m_i}} = \sqrt{\frac{2RT}{M}} \text{ – (наиболее вероятная),}$$

где m_i – масса одной молекулы.

- Относительная скорость молекулы:

$$u = v / v_B,$$

где v – скорость данной молекулы.

- Удельные теплоемкости газа при постоянном объеме (c_V) и при постоянном давлении (c_p):

$$c_V = \frac{i}{2} \frac{R}{M}; \quad c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{M}.$$

- Связь между удельной c и молярной C теплоемкостями:

$$c = C / M; \quad C = cM.$$

Уравнение Майера:

$$C_p - C_V = R.$$

- Внутренняя энергия идеального газа:

$$U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} C_V T.$$

- Первое начало термодинамики:

$$Q = \Delta U + A,$$

где Q – теплота, сообщенная системе (газу);

ΔU – изменение внутренней энергии системы;

A – работа, совершенная системой против внешних сил.

- Работа расширения газа:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad \text{– (в общем случае);}$$

$$A = p(V_2 - V_1) - (\text{при изобарном процессе});$$

$$A = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} - (\text{при изотермическом процессе});$$

$$A = -\Delta U = -\frac{m}{M} C_V \Delta t, \text{ или } A = \frac{RT_1}{\gamma-1} \frac{m}{M} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$

(при адиабатном процессе),

где $\gamma = c_p / c_v$ – показатель адиабаты.

- Уравнения Пуассона, связывающие параметры идеального газа при адиабатном процессе:

$$pV^\gamma = \text{const}, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1},$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^\gamma, \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{(\gamma-1)/\gamma}.$$

- Термический к.п.д. цикла:

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_1,$$

где Q_1 – теплота, полученная рабочим телом от теплоотдатчика;

Q_2 – теплота, переданная рабочим телом теплоприемнику.

- Термический к.п.д. цикла Карно:

$$\eta = (Q_1 - Q_2) / Q_1 = (T_1 - T_2) / T_1,$$

где T_1 и T_2 – термодинамические температуры теплоотдатчика и теплоприемника.

- Коэффициент поверхностного натяжения:

$$\alpha = F / l, \text{ или } \alpha = \Delta E / \Delta S,$$

где F – сила поверхностного натяжения, действующая на контур l , ограничивающий поверхность жидкости;

ΔE – изменение свободной энергии поверхностной пленки жидкости, связанное с изменением площади ΔS поверхности этой пленки.

- Формула Лапласа, выражающая давление p , создаваемое сферической поверхностью жидкости:

$$p = 2\alpha / R,$$

где R – радиус сферической поверхности.

- Высота подъема жидкости в капиллярной трубке:

$$h = 2\alpha \cos\theta / (\rho g R),$$

где θ – краевой угол ($\theta=0$ при полном смачивании стенок трубки жидкостью;

$\theta=\pi$ при полном несмачивании);

R – радиус канала трубки;

ρ – плотность жидкости;

g – ускорение свободного падения.

- Высота подъема жидкости между двумя близкими и параллельными друг другу плоскостями:

$$h = 2\alpha \cos\theta / (\rho g d),$$

где d – расстояние между плоскостями.

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

ПРИМЕР 1. *Определить число N молекул, содержащихся в объеме $V=1$ мм³ воды, и массу m_1 молекулы воды. Считая условно, что молекулы воды имеют вид шариков, соприкасающихся друг с другом, найти диаметр d молекул.*

РЕШЕНИЕ. Число N молекул, содержащихся в некоторой системе массой m , равно произведению постоянной Авогадро N_A на количество вещества ν :

$$N=\nu N_A. \quad (1)$$

Так как $\nu=m / M$,

где M – молярная масса, то

$$N=(m / M) N_A.$$

Выразив в этой формуле массу как произведение плотности на объем V , получим

$$N=\rho V N_A / M.$$

Произведем вычисления, учитывая, что $M=18 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (см. приложение, таблица А 13):

$$N=\frac{10^3 \cdot 10^{-9}}{18 \cdot 10^{-3}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул} = 3,34 \cdot 10^{19} \text{ молекул}.$$

Массу m_1 одной молекулы можно найти по формуле

$$m_1=M / N_A \quad (2)$$

Подставив в (2) значения M и N_A , найдем массу молекулы воды:

$$m_1 = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23}} \text{ кг} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг}.$$

Если молекулы воды плотно прилегают друг к другу, то можно считать, что на каждую молекулу приходится объем (кубическая ячейка) $V_1 = d^3$, где d – диаметр молекулы. Отсюда

$$d = \sqrt[3]{V_1}. \quad (3)$$

Объём V_1 найдем, разделив молярный объем V_m на число молекул в моле, т.е. на N_A :

$$V_1 = V_m / N_A. \quad (4)$$

Подставим выражение (4) в (3):

$$d = \sqrt[3]{V_m / N_A}$$

где $V_m = M / \rho$.

Тогда
$$d = \sqrt[3]{M / (\rho N_A)}; \quad (5)$$

Проверим, дает ли правая часть выражения (5) единицу длины:

$$\left\{ \frac{[M]}{[\rho][N_A]} \right\}^{1/3} = \left\{ \frac{1 \text{ кг} / \text{моль}}{1 \text{ кг} / \text{м}^3 \cdot 1 \text{ моль}^{-1}} \right\}^{1/3} = 1 \text{ м}.$$

Произведем вычисления:

$$d = \sqrt[3]{\frac{18 \cdot 10^{-3}}{10^3 \cdot 6,02 \cdot 10^{23}}} \text{ м} = 3,11 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 311 \text{ пм}.$$

Ответ: $N = 3,34 \cdot 10^{19}$ молекул; $m_1 = 2,99 \cdot 10^{-26}$ кг;

$$d = 311 \text{ пм}.$$

ПРИМЕР 2. В баллоне объемом $V = 10$ л находится гелий под давлением $\rho_1 = 1$ МПа и при температуре $T_1 = 300$ К. После того как из баллона было взято $m = 10$ г гелия, температура в баллоне понизилась до $T_2 = 290$ К. Определить давление ρ_2 гелия, оставшегося в баллоне.

РЕШЕНИЕ. Для решения задачи воспользуемся уравнением Менделеева – Клапейрона, применив его к конечному состоянию газа:

$$\rho_2 V = (m_2 / M) R T_2, \quad (1)$$

где m_2 – масса гелия в баллоне в конечном состоянии;

M – молярная масса гелия;

R – молярная газовая постоянная.

Из уравнения (1) выразим искомое давление:

$$\rho_2 = m_2 R T_2 / (M V). \quad (2)$$

Массу m_2 гелия выразим через массу m_1 , соответствующую начальному состоянию, и массу m гелия, взятого из баллона:

$$m_2 = m_1 - m. \quad (3)$$

Массу m_1 гелия найдем также из уравнения Менделеева – Клапейрона, применив его к начальному состоянию:

$$m_1 = M \rho_1 V / (R T_1). \quad (4)$$

Подставив выражение массы m_1 в (3), а затем выражение m_2 в (2), найдем

$$p_2 = \left(\frac{M \rho_1 V}{RT_3} - m \right) \frac{RT_2}{MV},$$

или

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 - \frac{m}{M} \cdot \frac{RT_2}{V}, \quad (5)$$

Проверим, дает ли формула (5) единицу давления. Для этого в ее правую часть вместо символов величин подставим их единицы. В правой части формулы два слагаемых. Очевидно, что первое из них дает единицу давления, так как состоит из двух множителей, первый из которых (T_2 / T_1) – безразмерный, а второй – давление. Проверим второе слагаемое:

$$\begin{aligned} \frac{[m][R][T]}{[M][V]} &= \frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ кг/моль}} \frac{1 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К}) \cdot 1 \text{ К}}{1 \text{ м}^3} = \\ &= \frac{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ моль}}{1 \text{ кг}} \frac{1 \text{ Дж} \cdot 1 \text{ К}}{1 \text{ м}^3 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 1 \text{ К}} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ м}^3} = \frac{1 \text{ Н} \cdot \text{м}}{1 \text{ м}^3} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \text{ Па}. \end{aligned}$$

Паскаль является единицей давления. Произведем вычисления по формуле (5), учитывая, что $M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{моль}$ (см. приложение, таблица А13):

$$\begin{aligned} p_2 &= \left(\frac{290}{300} \cdot 10^6 - \frac{10^{-2} \cdot 8,31}{4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2}} \cdot 290 \right) \text{ Па} = 3,64 \cdot 10^5 \text{ Па} = \\ &= 0,364 \text{ МПа}. \end{aligned}$$

Ответ: $p_2 = 0,364 \text{ МПа}$.

ПРИМЕР 3. Баллон содержит $m_1 = 80$ г кислорода и $m_2 = 320$ г аргона. Давление смеси $p = 1$ МПа, температура $T = 300$ К. Принимая данные газы за идеальные, определить объем V баллона.

РЕШЕНИЕ. По закону Дальтона давление смеси равно сумме парциальных давлений газов, входящих в состав смеси.

По уравнению Менделеева – Клапейрона парциальные давления p_1 кислорода и p_2 аргона выражаются формулами:

$$p_1 = m_1 RT / (M_1 V), \quad p_2 = m_2 RT / (M_2 V).$$

Следовательно, по закону Дальтона давление смеси газов

$$p = p_1 + p_2, \text{ или } p = \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right) \frac{RT}{V}.$$

Произведем вычисления, учитывая, что $M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль, $M_2 = 40 \cdot 10^{-3}$ кг / моль (см. приложение, таблица А 13):

$$V = \left(\frac{0,08}{32 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,32}{40 \cdot 10^{-3}} \right) \frac{8,31 \cdot 300}{10^6} \text{ м}^3 = 0,0262 \text{ м}^3 = 26,2 \text{ л}.$$

Ответ: $V = 0,0262 \text{ м}^3 = 26,2 \text{ л}.$

ПРИМЕР 4. Найти среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle$ вращательного движения одной молекулы кислорода при температуре $T = 350$ К, а также кинетическую энергию E_k вращательного движения всех молекул кислорода массой $m = 4$ г.

РЕШЕНИЕ. На каждую степень свободы молекулы газа приходится одинаковая средняя энергия $\langle \varepsilon_1 \rangle = \frac{1}{2} kT$,

где k - постоянная Больцмана;

T - термодинамическая температура газа.

Так как вращательному движению двухатомной молекулы (молекула кислорода — двухатомная) соответствуют две степени свободы, то средняя энергия вращательного движения молекулы кислорода

$$\langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle = 2 \cdot \frac{1}{2} kT = kT. \quad (1)$$

Кинетическая энергия вращательного движения всех молекул газа

$$E_k = \langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle N. \quad (2)$$

Число всех молекул газа

$$N = N_{Av} \nu, \quad (3)$$

где N_A - постоянная Авогадро;

ν - количество вещества.

Если учесть, что количество вещества $\nu = m/M$,

где m - масса газа;

M - молярная масса газа,

то формула (3) примет вид

$$N = N_A m/M.$$

Подставив выражение N в формулу (2), получаем

$$E_K = N_A m \langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle / M. \quad (4)$$

Произведем вычисления, учитывая, что для кислорода $M=32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (см. приложение, таблица А 13):

$$\langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle = kT = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 350 \text{ Дж} = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж};$$

$$E_K = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot \frac{4 \cdot 10^{-3}}{32 \cdot 10^{-3}} \cdot 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = 364 \text{ Дж}.$$

$$\text{Ответ: } \langle \varepsilon_{\text{вращ}} \rangle = 4,83 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}; E_K = 364 \text{ Дж}.$$

ПРИМЕР 5. Вычислить удельные теплоемкости при постоянном объеме c_V и при постоянном давлении c_p неона и водорода, принимая эти газы за идеальные.

РЕШЕНИЕ. Удельные теплоемкости идеальных газов выражаются формулами:

$$c_V = \frac{i R}{2 M}, \quad (1)$$

$$c_p = \frac{i+2 R}{2 M}, \quad (2)$$

где i - число степеней свободы молекулы газа;

M - молярная масса.

Для неона (одноатомный газ) $i = 3$ и $M=20 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (см. приложение, таблица А 13).

Произведем вычисления:

$$c_V = \frac{3}{2} \cdot \frac{8,31}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж/(кгК)} = 6,24 \cdot 10^2 \text{ Дж/(кгК)};$$

$$c_p = \frac{3+2}{2} \cdot \frac{8,31}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж/(кгК)} = 1,04 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кгК)}.$$

Для водорода (двухатомный газ) $i=5$ и $M=2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

Тогда

$$c_V = \frac{5}{2} \cdot \frac{8,31}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж/(кгК)} = 1,04 \cdot 10^4 \text{ Дж/(кгК)};$$

$$c_p = \frac{5+2}{2} \cdot \frac{8,31}{2 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж/(кгК)} = 1,46 \cdot 10^4 \text{ Дж/(кгК)}.$$

Ответ: $c_V = 1,04 \cdot 10^4 \text{ Дж/(кгК)}$; $c_p = 1,46 \cdot 10^4 \text{ Дж/(кгК)}$.

ПРИМЕР 6. Вычислить удельные теплоемкости c_V и c_p смеси неона и водорода, если массовые доли неона и водорода составляют $\omega_1 = 80\%$ и $\omega_2 = 20\%$. Значения удельных теплоемкостей газов взять из предыдущего примера.

РЕШЕНИЕ. Удельную теплоемкость c_V смеси при постоянном объеме найдем следующим образом. Теплоту, необходимую для нагревания смеси на ΔT , выразим двумя способами:

$$Q = c_V (m_1 + m_2) \Delta T, \quad (1)$$

$$Q = (c_{V1} m_1 + c_{V2} m_2) \Delta T, \quad (2)$$

где c_{V1} - удельная теплоемкость неона;

c_{V2} - удельная теплоемкость водорода.

Приравняв правые части (1) и (2) и разделив обе части полученного равенства на ΔT , получим

$$c_V(m_1+m_2)=c_{V1}m_1+c_{V2}m_2,$$

откуда

$$c_V=c_{V1}\frac{m_1}{m_1+m_2}+c_{V2}\frac{m_2}{m_1+m_2}, \quad (3)$$

или

$$c_V=c_{V1}\omega_1+c_{V2}\omega_2, \quad (4)$$

где $\omega_1=\frac{m_1}{m_1+m_2}$ и $\omega_2=\frac{m_2}{m_1+m_2}$.

Рассуждая так же, получим формулу для вычисления удельной теплоемкости смеси при постоянном давлении:

$$c_p=c_{p1}\omega_1+c_{p2}\omega_2. \quad (5)$$

Произведем вычисления:

$$\begin{aligned} c_V &= (6,24 \cdot 10^2 \cdot 0,8 + 1,04 \cdot 10^4 \cdot 0,2) \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = \\ &= 2,58 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = 2,58 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_p &= (1,04 \cdot 10^3 \cdot 0,8 + 1,46 \cdot 10^4 \cdot 0,2) \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = \\ &= 3,75 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = 3,75 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}. \end{aligned}$$

Ответ: $c_V = 2,58 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = 2,58 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$;

$$c_p = 3,75 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)} = 3,75 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}.$$

ПРИМЕР 7. Кислород массой $m = 2$ кг занимает объем $V_1 = 1 \text{ м}^3$ и находится под давлением $p_1 = 0,2$ МПа. Газ был нагрет сначала при постоянном давлении до объема $V_2 = 3 \text{ м}^3$, а затем при постоянном объеме до давления $p_3 = 0,5$ МПа. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа, совершенную им работу A и теплоту Q , переданную газу.

РЕШЕНИЕ. Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = c_V m \Delta T = \frac{i}{2} \frac{R}{M} m \Delta T, \quad (1)$$

где i - число степеней свободы молекул газа (для двухатомных молекул кислорода $i = 5$),

$\Delta T = T_3 - T_1$ разность температур газа в конечном (третьем) и начальном состояниях.

Начальную и конечную температуру газа найдем из уравнения Менделеева — Клапейрона $pV = (m/M)RT$,

откуда $T = pVM / (mR)$.

Работа расширения газа при постоянном давлении выражается формулой

$$A_1 = (m_1 / M) R \Delta T.$$

Работа газа, нагреваемого при постоянном объеме, равна нулю, т. е.

$$A_2 = 0.$$

Следовательно, полная работа, совершаемая газом,

$$A=A_1+A_2=A_1.$$

Согласно первому началу термодинамики теплота Q , переданная газу, равна сумме изменения внутренней энергии ΔU и работы A :

$$Q=\Delta U+A.$$

Произведем вычисления, учтя, что для кислорода $M=32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль (см. приложение, таблица А 13):

$$T_1 = \frac{2 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} K = 385 K;$$

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

$$T_3 = \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 3 \cdot 32 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 8,31} K = 2887 K;$$

$$A_1 = \frac{8,31 \cdot 2 \cdot (1155 - 385)}{32 \cdot 10^{-3}} \text{ Дж} = 0,400 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 0,4 \text{ МДж};$$

Ответ: $\Delta U = 3,24 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 3,24 \text{ МДж}$; $A = A_1 = 0,4 \text{ МДж}$;

$$Q = 3,64 \text{ МДж}.$$

ПРИМЕР 8. В цилиндре под поршнем находится водород массой $m = 0,02$ кг при температуре $T_1 = 300$ К. Водород сначала расширился адиабатно, увеличив свой объем в $n_1 = 5$ раз, а затем был сжат изотермически, причем объем газа уменьшился в $n_2 = 5$ раз.

Найти температуру в конце адиабатного расширения и работу, совершенную газом при этих процессах.

РЕШЕНИЕ. Температуры и объемы газа, совершающего адиабатный процесс, связаны между собой отношением

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \text{ или } \frac{T_2}{T_1} = \frac{1}{n_1^{\gamma-1}},$$

где γ - отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме, $n_1 = V_2 / V_1$.

Отсюда получаем следующее выражение для конечной температуры:

$$T_2 = T_1 / n_1^{\gamma-1}.$$

Работа A_1 газа при адиабатном расширении может быть определена по формуле

$$A_1 = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = \frac{m}{M} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2),$$

где C_V - молярная теплоемкость газа при постоянном объеме.

Работа A_2 газа при изотермическом процессе может быть выражена в виде

$$A_2 = \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{V_3}{V_2}, \text{ или } A_2 = \frac{m}{M} R T_2 \ln \frac{1}{n_2},$$

где $n_2 = V_2 / V_3$.

Произведем вычисления, учтя, что для водорода как двухатомного газа $\gamma = 1,4$, $i = 5$ и $M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг / моль:

$$T_2 = \frac{300}{5^{1,41}} \text{ К} = \frac{300}{5^{0,4}} \text{ К}.$$

Так как $5^{0,4} = 1,91$ (находится логарифмированием), то

$$T_2 = \frac{300}{1,91} \text{ К} = 157 \text{ К};$$

$$A_1 = \frac{0,02 \cdot 5 \cdot 8,31}{2 \cdot 10^{-3} \cdot 2} (300 - 157) \text{ Дж} = 29,8 \text{ кДж};$$

$$A_2 = \frac{0,02}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot 8,31 \cdot 157 \ln \frac{1}{5} \text{ Дж} = -21 \text{ кДж}.$$

Знак «минус» показывает, что при сжатии работа газа совершается над газом внешними силами.

Ответ: $T_2 = 157 \text{ К}; A_1 = 29,8 \text{ кДж}; A_2 = -21 \text{ кДж}.$

ПРИМЕР 9. Тепловая машина работает по обратимому циклу Карно. Температура теплоотдатчика $T_1 = 500 \text{ К}$. Определить термический к.п.д. η цикла и температуру T_2 теплоприемника тепловой машины, если за счет каждого килоджоуля теплоты, полученной от теплоотдатчика, машина совершает работу $A = 350 \text{ Дж}$.

РЕШЕНИЕ. Термический к.п.д. тепловой машины показывает, какая доля теплоты, полученной от теплоотдатчика, превращается в механическую работу. Термический к.п.д. выражается формулой

$$\eta = A/Q_1,$$

где Q_1 - теплота, полученная от теплоотдатчика;

A - работа, совершенная рабочим телом тепловой машины.

Зная к.п.д. цикла, можно по формуле $\eta = (T_1 - T_2) / T_1$ определить температуру охладителя T_2 :

Произведем вычисления:

$$\eta = \frac{350}{1000} = 0,35;$$

$$T_2 = 500(1 - 0,35) \text{ К} = 325 \text{ К}.$$

Ответ: $\eta = 0,35$; $T_2 = 325 \text{ К}$.

ПРИМЕР 10. Найти добавочное давление внутри мыльного пузыря диаметром $d = 10$ см. Какую работу нужно совершить, чтобы выдуть этот пузырь?

РЕШЕНИЕ. Пленка мыльного пузыря имеет две сферические поверхности — внешнюю и внутреннюю. Обе поверхности оказывают давление на воздух, заключенный внутри пузыря. Так как толщина пленки чрезвычайно мала, то диаметры обеих поверхностей практически одинаковы. Поэтому добавочное давление

$$p = 2 \frac{2\alpha}{r},$$

где r - радиус пузыря.

Так как $r = d/2$, то

$$p = 8\alpha/d.$$

Работа, которую нужно совершить, чтобы, растягивая пленку, увеличить ее поверхность на ΔS , выражается формулой

$$A = \alpha \Delta S \text{ или } A = \alpha (S - S_0).$$

В данном случае S - общая площадь двух сферических поверхностей пленки мыльного пузыря; S_0 - общая площадь двух поверхностей плоской пленки, затягивавшей отверстие трубки до выдувания пузыря. Пренебрегая S_0 , получаем

$$A = \alpha S = 2\pi d^2 \alpha.$$

Произведем вычисления:

$$p = \frac{8 \cdot 40 \cdot 10^{-3}}{0,1} \text{ Па} = 3,2 \text{ Па};$$

$$A = 23,14 (0,1)^2 \cdot 40 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 2,5 \text{ мДж}.$$

Ответ: $p = 3,2 \text{ Па}; A = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ Дж} = 2,5 \text{ мДж}.$

10. Задачи по механике

Кинематика материальной точки и твердого тела

1. Автомобиль проехал треть пути со скоростью $v_1 = 60$ км/ч. Далее $\frac{1}{4}$ оставшегося времени он ехал со скоростью $v_2 = 50$ км/ч, а затем двигался со скоростью $v_3 = 90$ км/ч. Найти среднюю скорость $\langle v \rangle$ автомобиля на всем пути.
2. Материальная точка движется в плоскости xOy согласно уравнениям $x = A_1 + B_1 t + C_1 t^2$ и $y = A_2 + B_2 t + C_2 t^2$, где $B_1 = 7$ м/с, $C_1 = -2$ м/с², $B_2 = -1$ м/с, $C_2 = 0,2$ м/с². Определить модули скорости и ускорения точки в момент времени $t_1 = 5$ с.
3. Кинематическое уравнение движения материальной точки вдоль прямой (ось x) задается уравнением $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $B = 9$ м/с, $C = -6$ м/с², $D = 1$ м/с³. Определить среднюю скорость $\langle v \rangle$ и среднее ускорение $\langle a \rangle$ материальной точки за промежуток времени, в течение которого точка движется в направлении, противоположном первоначальному.
4. Дождевая капля в момент, когда она достигает поверхности земли, имеет скорость 15 м/с. Одна из капель падает в колодец глубиной 10 м. Сколько времени нужно для того, чтобы человек, стоящий на земле, услышал удар капли о поверхность воды, если скорость звука в воздухе 340 м/с?
5. За последнюю секунду падающее тело прошло такое же расстояние, как и за все предыдущее время движения. Сколько секунд оно падало?
6. Тело брошено под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту с начальной скоростью $v_0 = 20$ м/с. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить скорость тела, нормальную и тангенциальную составляющие ускорения и радиус кривизны траектории через время $t_1 = 0,5$ с после начала движения. Найти уравнение траектории движения тела.
7. Линейная скорость v_1 точек на окружности вращающегося диска равна 3 м/с. Точки, расположенные на $\Delta R = 10$ см ближе к оси, имеют линейную скорость $v_2 = 2$ м/с. Определить частоту n вращения диска.
8. Колесо радиусом 10 см, вращаясь равноускоренно, достигло угловой скорости 20 рад/с через пять оборотов после начала вращения. Найти угловое ускорение, время пяти оборотов,

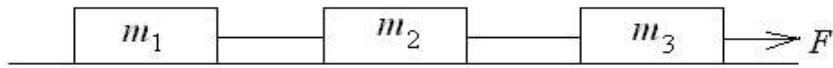
- линейную скорость, тангенциальное, нормальное и полное ускорения, а также угол, составляемый вектором полного ускорения с линейной скоростью в этот момент. Как меняется направление полного ускорения с течением времени?
9. Барабан сепаратора радиусом $R = 0,25$ м вращается по закону $\varphi = A + Bt + Ct^3$, где $A = 2,5$ рад, $B = 0,8$ рад/с; $C = 0,15$ рад/с³. Определить тангенциальное a_t , нормальное a_n и полное a ускорения точек на поверхности барабана в момент времени $t = 10$ с.
 10. Колесо механизма вращается с постоянной частотой $n = 45$ мин⁻¹. При переходе на меньшую мощность частота вращения за время $t_1 = 2,4$ с уменьшилась в $k = 1,5$ раза. Считая движение равнозамедленным, определить угловое ускорение ε и число оборотов N за время торможения.
 11. На цилиндр, который может вращаться вокруг горизонтальной оси, намотана нить. К концу нити привязали грузик и предоставили ему возможность опускаться. Двигаясь равноускоренно, грузик за время $t = 3$ с опустился на высоту $h = 1,5$ м. Определить угловое ускорение цилиндра, если его радиус $R = 4$ см.
 12. Твердое тело начинает вращаться вокруг неподвижной оси с угловым ускорением $\varepsilon = \alpha t$, где $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-2}$ рад/с². Через сколько времени после начала вращения вектор полного ускорения произвольной точки тела будет составлять угол $\varphi = 60^\circ$ с ее вектором скорости?

Динамика материальной точки и твердого тела

1. Смесь свинцовых дробинок с диаметрами $d_1 = 1$ мм и $d_2 = 3$ мм опустили в бак с глицерином высотой $h = 1$ м. Насколько позже упадут на дно дробинок меньшего диаметра по сравнению с дробинок большего диаметра? Динамическая вязкость глицерина $\eta = 1,47$ Па·с.
2. Шарик массой $m = 200$ г, подвешенный на нити длиной $l = 56$ см, совершает колебания в вертикальной плоскости. Сила натяжения нити T , когда нить составляет угол $\alpha = 50^\circ$ с вертикалью, равна 4,5 Н. Определить скорость шарика в этот момент времени.

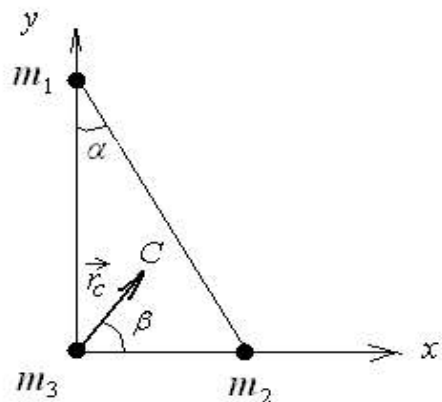
3. Тело находится в равновесии на наклонной плоскости длиной $l = 16$ м с углом $\alpha = 26^\circ$ к горизонту. Определить время, за которое тело соскользнет с плоскости, если угол наклона увеличить до $\beta = 40^\circ$.
4. Через блок, укрепленный на вершине двух наклонных плоскостей, составляющих с горизонтом углы $\alpha = 28^\circ$, $\beta = 40^\circ$, перекинута нить, к которой прикреплены грузы с одинаковыми массами. Считая нить и блок невесомыми и пренебрегая трением, определить ускорение a грузов.
5. При отрыве от земли самолета массой $m = 5,2$ т мощность двигателей самолета $N = 820$ кВт. Разгоняясь равноускоренно, самолет достигает скорости $v = 32$ м/с. Принимая, что коэффициент сопротивления $f = 0,04$ не зависит от скорости, определить длину пробега S самолета перед взлетом.
6. Автомобиль массой $m = 1,5$ т спускается при выключенном двигателе с постоянной скоростью $v = 36$ км/ч по уклону горы (угол к горизонту $\alpha = 15^\circ$). Определить, какой должна быть мощность N двигателя автомобиля, чтобы он смог преодолеть такой же подъем с такой же скоростью.
7. Максимальный груз, который выдерживает алюминиевая проволока диаметром $d = 2$ мм, равен 8 кг. Определить: 1) предел упругости σ_y этой проволоки; 2) относительное удлинение ε ; 3) относительное поперечное сжатие ε_1 ; 4) модуль сдвига алюминия G . Коэффициент Пуассона $\mu = 0,34$, модуль Юнга $E = 6,9 \cdot 10^{10}$ Па.
9. По круговой орбите вокруг Земли обращается спутник с периодом $T = 90$ мин. Определить высоту спутника. Ускорение свободного падения g у поверхности Земли и ее радиус R считать известными.
10. Определить скорость v пули, если отклонение от мишени при стрельбе вдоль меридиана составляет 6,2 см вправо от центра. Расстояние до мишени $s = 900$ м, стрельба производится на широте $\varphi = 54^\circ$. Скорость пули считать постоянной.

11. Три связанных невесомой и нерастяжимой нитью тела массами $m_1 = 1,8$ кг, $m_2 = 1,2$ кг и $m_3 = 1,1$ кг движутся по горизонтальной поверхности под действием горизонтальной силы $F = 15$ Н. Определите ускорение a тел, если коэффициент трения μ тел о поверхность равен 0,3.



12. Через блок, укрепленный на потолке комнаты, перекинута нить, на концах которой подвешены тела с массами m_1 и m_2 . Массы блока и нити пренебрежимо малы, трения нет. Найти ускорение центра масс этой системы.

13. В вершинах прямоугольного треугольника с гипотенузой $l = 2$ м и углом $\alpha = 30^\circ$ находятся шары массами $m_1 = 2$ кг, $m_2 = 2$ кг, $m_3 = 4$ кг. Определить модуль радиуса-вектора $\vec{r}_C$ центра масс системы материальных точек, приняв за начало координат вершину прямого угла. Определите также угол β между радиусом вектором $\vec{r}_C$ и осью x



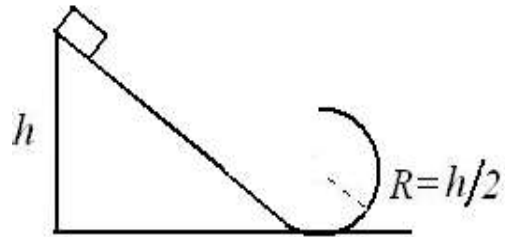
Законы сохранения

1. Найти работу силы тяжести в двух случаях: 1) тело массой m скатывается по наклонной плоскости без трения с высоты h ; 2) тело падает с этой же высоты. Какой силой является сила тяжести и каким является силовое поле силы тяжести?
2. Мяч, летящий со скоростью $v_1 = 15$ м/с, отбрасывается ударом ракетки в противоположном направлении со скоростью $v_2 = 20$ м/с. Найти, чему равно изменение импульса мяча, если известно, что изменение его кинетической энергии при этом равно $\Delta K = 8,75$ Дж.
3. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 42 м/с. Определить высоту и скорость, на которой потенциальная

- энергия тела в $n = 1,5$ раза больше кинетической энергии, максимальную высоту подъема тела.
4. Пуля массой 9 г, летящая горизонтально со скоростью 600 м/с, пробивает висящий на нити брусок массой 140 г, вследствие чего скорость пули уменьшается в полтора раза. Определить количество теплоты, выделившееся при ударе.
 5. Шар массой m_1 , движущийся со скоростью v_1 , ударяется о неподвижный шар массой m_2 . Считая удар центральным и абсолютно упругим, определить направления и величину скоростей шаров u_1 , u_2 после их соударения, рассмотрев случаи: 1) $m_1 = m_2$; 2) $m_1 > m_2$; 3) $m_1 < m_2$.
 6. Сравните работу двигателя автомобиля при разгоне с места от скорости $v_1 = 0$ до $v_2 = 20$ км/ч и от $v_1 = 20$ км/ч до $v_2 = 40$ км/ч, если время разгона и сила сопротивления в обоих случаях одинакова.
 7. На толкание ядра, брошенного под углом $\alpha = 45^\circ$ к горизонту, затрачена работа $A = 216$ Дж. Через какое время t и на каком расстоянии s от места бросания ядро упадет на землю? Масса ядра $m = 2$ кг.
 8. Груз массой 150 кг подвешен на стальной проволоке, выдерживающей силу натяжения 2,94 кН. На какой наибольший угол можно отклонить проволоку с грузом, чтобы она не разорвалась при прохождении грузом положения равновесия?
 9. Тело массой $m = 0,5$ кг падает с некоторой высоты на плиту с массой $M = 1$ кг, укрепленную на пружине жесткостью $k = 4$ кН/м. Определить, на какую длину Δl сожмется пружина, если в момент удара скорость груза $v = 5$ м/с. Удар считать неупругим.
 10. По круговой орбите вокруг Земли вращается спутник массой 2 т с периодом 105 мин. Определить полную механическую энергию спутника относительно Земли.
 11. Шар и сфера одинакового радиуса и массы скатываются по наклонной плоскости с одинаковой высоты. Скорость какого тела будет больше в конце пути и во сколько раз?
 12. Круглая платформа в виде однородного сплошного диска, в центре которой стоит человек с массой $m = 72$ кг, вращается по инерции с частотой $n_1 = 25$ мин⁻¹. При переходе человека

на край платформы частота ее вращения стала равной $n_2 = 10 \text{ мин}^{-1}$. Определить массу M платформы.

13. Небольшое тело начинает скользить с высоты h по наклонному желобу, переходящему в полуокружность радиуса $R = h/2$. Пренебрегая трением, найти скорость тела в наивысшей точке его траектории после отрыва от желоба.



14. Стальной шарик массой $m = 20 \text{ г}$ положен на пружинные весы массой $M = 40 \text{ г}$. При этом чашка весов отклонилась на $x_0 = 3 \text{ см}$. Определить максимальное показание весов, если шарик бросить на весы без начальной скорости с высоты $h = 40 \text{ см}$ и после удара он подпрыгнул на высоту $h_1 = 17 \text{ см}$. Удар считать абсолютно упругим.

Законы сохранения. Динамика абсолютно твердого тела. СТО

1. Шар массой m_1 , движущийся со скоростью v_1 , ударяется о неподвижный шар массой m_2 . Считая удар центральным и абсолютно упругим, определить направления и величину скоростей шаров u_1, u_2 после их соударения, рассмотрев случаи: 1) $m_1 = m_2$; 2) $m_1 > m_2$; 3) $m_1 < m_2$.
2. Пуля массой 9 г , летящая горизонтально со скоростью 600 м/с , пробивает висящий на нити брусок массой 140 г , вследствие чего скорость пули уменьшается в полтора раза. Определить количество теплоты, выделившееся при ударе.
3. Тело брошено вертикально вверх со скоростью 42 м/с . Определить высоту и скорость, на которой потенциальная энергия тела в $n = 1,5$ раза больше кинетической энергии, максимальную высоту подъема тела.
4. Груз массой 150 кг подвешен на стальной проволоке, выдерживающей силу натяжения $2,94 \text{ кН}$. На какой

наибольший угол можно отклонить проволоку с грузом, чтобы она не разорвалась при прохождении грузом положения равновесия?

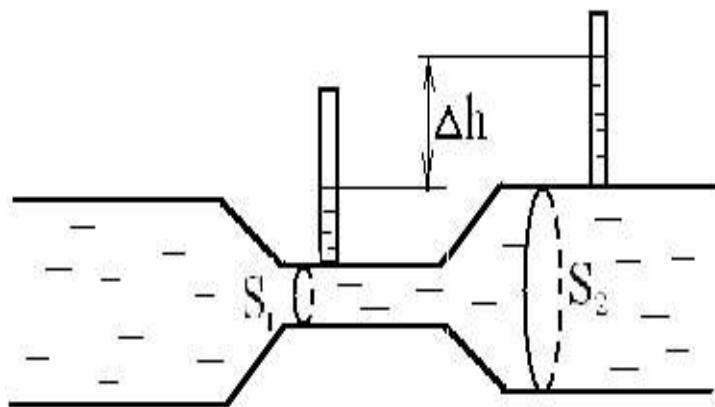
5. Тело массой $m = 0,5$ кг падает с некоторой высоты на плиту с массой $M = 1$ кг, укрепленную на пружине жесткостью $k = 4$ кН/м. Определить, на какую длину Δl сожмется пружина, если в момент удара скорость груза $v = 5$ м/с. Удар считать неупругим.
6. Стальной шарик массой $m = 20$ г положен на пружинные весы массой $M = 40$ г. При этом чашка весов отклонилась на $x_0 = 3$ см. Определить максимальное показание весов, если шарик бросить на весы без начальной скорости с высоты $h = 40$ см и после удара он подпрыгнул на высоту $h_1 = 17$ см. Удар считать абсолютно упругим.
7. Шар и сфера одинакового радиуса и массы скатываются по наклонной плоскости с одинаковой высоты. Скорость какого тела будет больше в конце пути и во сколько раз?
8. Круглая платформа в виде однородного сплошного диска, в центре которой стоит человек с массой $m = 72$ кг, вращается по инерции с частотой $n_1 = 25$ мин⁻¹. При переходе человека на край платформы частота ее вращения стала равной $n_2 = 10$ мин⁻¹. Определить массу M платформы.
9. Стержень длиной $l = 1,2$ м с закрепленным на конце шаром радиусом $R = 11$ см совершает вращательное движение с частотой $n = 120$ мин вокруг перпендикулярной стержню оси, проходящей через его свободный конец. Определить кинетическую энергию вращательного движения K шара, если его масса $m = 0,5$ кг.
10. При раскручивании диска массой $m = 20$ кг и радиусом $R = 0,6$ м электродвигателем, имеющим КПД $\eta = 0,4$, была затрачена энергия $E = 10$ кДж. Определить момент импульса L диска.
11. Вентилятор вращается с частотой $n = 420$ мин⁻¹. После выключения он начал вращаться равнозамедленно и остановился, сделав $N = 100$ оборотов. Определить работу

- сил торможения A ; момент сил торможения M . Момент инерции вентилятора $J = 0,4 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.
12. Долетит ли до поверхности Земли возникшая на высоте $h = 4 \text{ км}$ нестабильная частица, обладающая собственным временем жизни $t' = 4,5 \text{ мкс}$ и летящая со скоростью $v = 0,95 c$ по направлению к Земле?
 14. Космическая платформа движется со скоростью $v = 0,8c$ относительно наблюдателя. На платформе одновременно происходят два события в точках, расположенных на расстоянии $l_0 = 150 \text{ м}$ друг от друга. Определить промежуток времени между этими событиями, отсчитанный по часам наблюдателя.
 15. С какой скоростью v тело должно лететь навстречу наблюдателю, чтобы его линейный размер уменьшился на 7 %?
 16. Определите скорость v релятивистской частицы, если ее кинетическая энергия в $n = 1,8$ раза больше энергии покоя.
 17. Определите кинетическую энергию K протона, если его релятивистский импульс $p = 2 \cdot 10^{-18} \text{ Н} \cdot \text{с}$. Масса протона $m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

Механика жидкостей

1. Полый шар плавает на границе двух несмешивающихся жидкостей так, что соотношение частей шара во второй и первой жидкости равно $\frac{V_2}{V_1} = n = 3$. Плотности жидкостей и тела соответственно равны $\rho_1 = 0,8 \text{ г/см}^3$, $\rho_2 = 1 \text{ г/см}^3$ и $\rho = 2,7 \text{ г/см}^3$. Определить объем шара V , если размер его внутренней полости $V_0 = 25 \text{ см}^3$.
2. Льдину толщиной $h = 1,5 \text{ м}$ вынесло из реки в океан. На какую высоту поднялась льдина над поверхностью воды по сравнению с первоначальным уровнем в реке? Плотность льда $\rho = 0,9 \text{ г/см}^3$, плотность пресной воды $\rho_1 = 1 \text{ г/см}^3$, плотность океанской воды $\rho_2 = 1,03 \text{ г/см}^3$.

3. В сообщающиеся трубки с водой площадью сечения $S = 0,5 \text{ см}^2$ долили в левую масло объемом $V_1 = 40 \text{ мл}$, в правую керосин объемом $V_2 = 30 \text{ мл}$. Определить разность установившихся уровней воды в трубках, если плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$, плотность масла $\rho_1 = 0,9 \text{ г/см}^3$, плотность керосина $\rho_2 = 0,8 \text{ г/см}^3$.
4. Определить, на какую высоту h поднимется вода в вертикальной трубке, впаянной в узкую часть горизонтальной трубы диаметром $d_1 = 3 \text{ см}$, если в широкой части трубы диаметром $d_2 = 9 \text{ см}$ скорость воды $v_2 = 25 \text{ см/с}$.
5. Водомер представляет собой горизонтальную трубу переменного сечения, в которую впаяны две вертикальные манометрические трубки одинакового сечения. По трубе протекает вода.



Пренебрегая вязкостью воды, определите ее массовый расход Q (массу воды, протекающей через сечение в единицу времени), если разность уровней в манометрических трубках $\Delta h = 8 \text{ см}$, а сечения трубы у оснований манометрических трубок соответственно равны $S_1 = 6 \text{ см}^2$ и $S = 12 \text{ см}^2$. Плотность воды $\rho = 1 \text{ г/см}^3$.

6. Для определения объема перекачки газа используется трубка Прандтля. При перекачке азота по трубе за время $t = 1 \text{ с}$ проходит объем газа $V = 59,3 \text{ м}^3$. Определить диаметр d трубы, если разность уровней воды в коленах трубки

Прандтля $\Delta h = 1$ см. Плотность азота $\rho = 1,25$ кг/м³,
плотность воды $\rho_1 = 1$ г/см³.

7. В дне сосуда имеется отверстие диаметром d_1 . В сосуде вода поддерживается на постоянном уровне h . Считая, что струя не разбрызгивается и пренебрегая силами трения в жидкости, определить диаметр струи, вытекающей из сосуда, на расстоянии $h_1 = 2h$ от его дна.
8. Цилиндрический сосуд высотой $H = 1$ м до краев заполнен жидкостью. Пренебрегая вязкостью жидкости, определить, на какой высоте h должно быть проделано малое отверстие в стенке сосуда, чтобы струя, вытекающая из отверстия, падала на пол на расстоянии $l = 50$ см от цилиндра.
9. Машинное масло течет между двумя горизонтальными пластинами площадью $S = 0,2$ м², при этом его скорость меняется линейно от 0 до 0,3 м/с. Определите коэффициент динамической вязкости масла, если сила внутреннего трения $F = 15$ мН, а расстояние между пластинами $x = 40$ см.
10. Определите динамическую вязкость η воздуха, если капли дождя диаметром $d = 1$ мм падают со скоростью $v = 4,2$ м/с. Плотность воды $\rho = 1$ г/см³.
11. За время $t = 1$ ч через трубу диаметром $d = 40$ см прокачивается газ массой $m = 15$ кг. Динамическая вязкость газа $\eta = 10$ Па·с. Если за характерный размер принять диаметр трубы, то критическое значение числа Рейнольдса $Re_{кр}$ для ламинарного течения газа равна 2000. Определите характер течения газа.
12. Стальной шарик (плотность $\rho_1 = 9$ г/см³) падает с постоянной скоростью в сосуде с глицерином ($\rho_2 = 1,26$ г/см³, динамическая вязкость $\eta = 1,48$ Па·с). Считая, что при числе Рейнольдса $Re \leq 0,5$ выполняется закон Стокса, определить предельный диаметр шарика.

Механические колебания и волны

1. Написать уравнение гармонического колебательного движения, если максимальное ускорение точки $a_{\max} = 49,3 \text{ см/с}^2$, период колебания $T = 2 \text{ с}$ и смещение точки от положения равновесия в начальный момент времени $x_0 = 25 \text{ мм}$.
2. Частица движется с постоянной скоростью $v = 24 \text{ м/с}$ по окружности с центром в начале координат. В момент времени $t = 0$ частица находится в точке $x = 3,0 \text{ м}$; $y = 4,2 \text{ м}$. Чему равна частота вращения? Чему равна начальная фаза φ ? Написать закон изменения во времени координат частицы. Каким выражением описывается траектория этой частицы в плоскости x, y ?
3. Определить начальную фазу и амплитуду колебаний тела, если в начальный момент смещение равно $14,1 \text{ см}$, а через $0,25 \text{ с}$ от начала движения смещение равно половине амплитуды. Период колебаний равен 6 с .
4. Начальная фаза гармонического колебания равна 0 . При смещении $x_1 = 2,4 \text{ см}$ от положения равновесия тела массой 50 г скорость тела $v_1 = 3 \text{ см/с}$, а при смещении $x_2 = 2,8 \text{ см}$ его скорость $v_2 = 2 \text{ см/с}$. Найти амплитуду и период этого колебания, а также полную механическую энергию.
5. Две пружины жесткостью $k_1 = 10^3 \text{ Н/м}$ и $k_2 = 3 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ скреплены в первом случае параллельно, во втором – последовательно. Определить потенциальную энергию этой системы в обоих случаях при абсолютной деформации $\Delta l = 5 \text{ см}$. Как изменится период вертикальных колебаний груза при переходе от параллельного соединения пружин к последовательному?
6. Тело массой $m = 2 \text{ кг}$, подвешенное к упругой пружине, совершает гармонические колебания. Определить жесткость пружины, если за время $t = 1,5 \text{ мин}$ число полных колебаний равно $n = 60$.
7. Медный шарик, подвешенный к пружине, совершает вертикальные колебания. Как изменится период колебаний, если к пружине подвесить вместо медного шарика алюминиевый такого же радиуса? $\rho_{\text{Cu}} = 8,6 \text{ г/см}^3$; $\rho_{\text{Al}} = 2,6 \text{ г/см}^3$.

8. К резиновому шнуру длиной $l = 40$ см и радиусом $r = 1$ мм подвешена гиря массой $m = 0,5$ кг. Зная, что модуль Юнга резины $E = 3$ МПа, найти период вертикальных колебаний гири.
9. Математический маятник длиной $l = 1$ м установлен в лифте, который поднимается с ускорением $a = 2,5$ м/с². Определить период колебаний маятника.
10. Тонкий обруч подвешен на вбитый в стенку гвоздь и совершает гармонические колебания с периодом $T = 1,56$ с в плоскости, параллельной стене. Определить радиус обруча.
11. Энергия затухающих колебаний маятника, происходящих в некоторой среде за время $t = 1,5$ мин, уменьшилась в $n = 75$ раз. Определить коэффициент сопротивления r среды, если масса m маятника равна 200 г.
12. Период T_0 собственных колебаний пружинного маятника равен 0,55 с. В вязкой среде период T_1 того же маятника стал равным 0,56 с. Определить резонансную частоту $\nu_{\text{рез}}$ колебаний.
13. Смещение от равновесия точки, отстоящей от источника колебаний на расстоянии $l = 4$ см, в момент времени $t = T/6$ с равно половине амплитуды. Найти длину волны бегущей волны.
14. Звуковые колебания, имеющие частоту $\nu = 500$ Гц и амплитуду $A = 0,25$ мм, распространяются в воздухе. Длина волны $\lambda = 70$ см. Найти скорость v распространения колебаний и максимальную скорость v_{max} частиц воздуха.
15. Два поезда идут навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 72$ км/ч и $v_2 = 54$ км/ч. Первый поезд дает свисток с частотой $\nu = 600$ Гц. Найти частоту свистка ν' , который слышит пассажир второго поезда: а) перед встречей поездов; б) после встречи поездов. Скорость распространения звука в воздухе $c = 340$ м/с. (Частота принимаемого сигнала в эффекте Доплера

определяется по формуле $\nu = \nu_0 \frac{1 + \frac{v_2}{c} \cos \theta_2}{1 + \frac{v_1}{c} \cos \theta_1}$, где θ_1, θ_2 -

углы, образуемые векторами v_1 , v_2 с вектором R , проведенным от наблюдателя к источнику звука).

11. Задачи по молекулярной физике и термодинамике

- 1 Число молекул в 1 м^3 газа при нормальных условиях ($p_0 = 1 \text{ атм}$, $T_0 = 273 \text{ К}$) называется числом Лошмидта. Вычислить, чему равно число Лошмидта.
- 2 Определить число атомов в 1 кг водорода и массу одного атома водорода.
- 3 В баллоне объемом $V = 5 \text{ л}$ находится кислород, концентрация n молекул которого равна $8 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Определить массу m кислорода.
- 4 Сосуд разделен перегородками на три части, объемы которых равны V_1 , V_2 , V_3 и в которых находятся газы при давлениях p_1 , p_2 и p_3 соответственно. Какое давление в сосуде установится после удаления перегородок, если температура при этом осталась неизменной?
- 5 Оболочка аэростата объемом $V = 1600 \text{ м}^3$, находящегося на поверхности Земли, на часть объема $\kappa = 7/8$ наполнена водородом при давлении $p_1 = 100 \text{ кПа}$ и температуре $t_1 = 17^\circ \text{С}$. Аэростат подняли на некоторую высоту, где давление $p_2 = 80 \text{ кПа}$ и температура $t_2 = 7^\circ \text{С}$. Определить массу Δm водорода, вышедшего из оболочки при его подъеме.
- 6 В баллоне объемом $V = 15 \text{ л}$ находится азот под давлением 100 кПа при температуре $t_1 = 27^\circ \text{С}$. После того как из баллона выпустили азот массой 14 г , температура газа стала равной $t_2 = 17^\circ \text{С}$. Определить давление азота, оставшегося в баллоне.
- 7 Газовая смесь, состоящая из азота и водорода при температуре 23°С , находится в баллоне под давлением $p = 2 \text{ атм}$. Определить массы смеси и ее компонентов, если массовая доля азота в смеси равна $w_1 = 0,7$. Определить парциальные давления p_1 и p_2 компонентов смеси.
- 8 При какой температуре T_2 молекулы кислорода имеют такую же среднюю квадратичную скорость $\langle v_{\text{кв}} \rangle$, как молекулы водорода при температуре $T_1 = 300 \text{ К}$?
- 9 Средняя энергия вращательного движения молекулы кислорода

- равна $\varepsilon_{вр} = 2,76 \cdot 10^{-20}$ Дж. Давление газа $p = 0,5$ МПа. Вычислить плотность газа и концентрацию его молекул.
- 10 Определить среднюю арифметическую и наиболее вероятную скорости молекул газа, если их средняя квадратичная скорость равна 600 м/с.
 - 11 Определить плотность газа, если наиболее вероятная скорость v_v его молекул при давлении $p = 50$ кПа равна 500 м/с.
 - 12 Французский физик Ж. Перрен, наблюдая под микроскопом изменение концентрации взвешенных в воде ($\rho = 1,00$ г/см³) шариков гуммигута ($\rho_1 = 1,25$ г/см³) с изменением высоты, экспериментально определил постоянную Авогадро N_A . Определить это значение, если температура взвеси $T = 298$ К, радиус шариков $R = 0,21$ мкм, а при расстоянии между двумя слоями $\Delta h = 30$ мкм число шариков гуммигута в одном слое в два раза больше, чем в другом.
 - 13 На какой высоте H над поверхностью Земли атмосферное давление вдвое меньше, чем на поверхности? Температуру воздуха считать неизменной и равной $t = 0$ °С.
 - 14 Барометр в кабине летящего вертолета показывает давление $p = 90$ кПа. На какой высоте летит вертолет, если на взлетной площадке барометр показывал давление $p_0 = 1$ атм? Считать, что температура воздуха равна 17 °С и не изменяется с высотой.
 - 15 Трехатомный газ под давлением $p = 240$ кПа и температуре $t = 20$ °С занимает объем $V = 10$ л. Определить теплоемкость C_p этого газа при постоянном давлении.
 - 16 Объем паров углекислого газа при адиабатном сжатии уменьшился в два раза. Как изменилось давление?
 - 17 Определить, во сколько раз показатель адиабаты для гелия больше, чем для углекислого газа.
 - 18 Газ совершает цикл Карно. Абсолютная температура T_1 нагревателя в три раза выше, чем температура T_2 охладителя. Нагреватель передал газу теплоту $Q_1 = 10$ ккал. Какую работу A совершил газ? Определить количество теплоты, отдаваемой холодильнику, и мощность тепловой машины, если время осуществления цикла 0,4 с.
 - 19 Кислород, занимавший объем $V_1 = 1$ л при давлении $p_1 = 12$ атм, адиабатически расширился до объема $V_2 = 10$ л. Определить работу A расширения газа.

20. Углекислый газ расширяется при постоянном давлении. Определить работу расширения, если газу передана теплота $Q = 1$ ккал.
21. При нагревании 1 кмоль двухатомного газа его абсолютная температура увеличилась в 1,5 раза. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит изобарически.

Молекулярная физика и термодинамика

1. Число молекул в 1 м^3 газа при нормальных условиях ($p_0 = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $T_0 = 273 \text{ К}$) называется числом Лошмидта. Вычислить, чему равно число Лошмидта.
2. Определить молярную массу M и массу m_0 одной молекулы углекислого газа.
3. Определить плотность ρ газа, если наиболее вероятная скорость v_v его молекул при давлении $p = 50 \text{ кПа}$ равна 500 м/с .
4. Найти импульс молекулы водорода при температуре $t = 20^\circ \text{C}$. Скорость молекулы считать равной средней квадратичной скорости.
5. 25 г кислорода и 75 г азота занимают объем 10 л при температуре 27°C . Определить молярную массу, давление смеси и парциальные давления компонентов смеси, плотность смеси, внутреннюю энергию смеси.
6. Сосуд разделен перегородками на три части, объемы которых равны V_1 , V_2 , V_3 и в которых находятся газы при давлениях p_1 , p_2 и p_3 соответственно. Какое давление в сосуде установится после удаления перегородок, если температура при этом осталась неизменной?
7. Французский физик Ж. Перрен, наблюдая под микроскопом изменение концентрации взвешенных в воде ($\rho = 1,00 \text{ г/см}^3$) шариков гуммигута ($\rho_l = 1,25 \text{ г/см}^3$) с изменением высоты, экспериментально определил постоянную Авогадро N_A . Определить это значение, если температура взвеси $T = 298 \text{ К}$, радиус шариков $R = 0,21 \text{ мкм}$, а при расстоянии между двумя слоями $\Delta h = 30 \text{ мкм}$ число шариков гуммигута в одном слое в два раза больше, чем в другом.
8. Оболочку воздушного шара объемом $V = 800 \text{ м}^3$ заполнили водородом при температуре $t_1 = 0^\circ \text{C}$. На сколько изменится подъемная сила шара при повышении температуры до $t_2 = 20^\circ \text{C}$? Объем оболочки считать неизменным. В нижней части оболочки

- имеется отверстие, через которое водород может выходить в окружающее пространство. Сколько водорода вышло из оболочки при подъеме на высоту $h = 2000$ м при температуре водорода в оболочке $t_2 = 20$ С?
9. Два сосуда объемом $V_1 = 100$ см³ и $V_2 = 200$ см³ разделены подвижным поршнем, не проводящим тепло. Сначала температура газа в сосудах $T = 300$ К, а его давление $p = 1,01 \cdot 10^5$ Па, затем меньший сосуд охладили до $T_1 = 273$ К, а большой нагрели до $T_2 = 373$ К. Какое давление установится в сосудах?
 10. Во сколько раз средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул в 10 г азота и температуре $T = 300$ К больше средней кинетической энергии вращательного движения? Чему равна полная кинетическая энергия теплового движения молекул азота?
 11. Определить среднюю длину $\langle \lambda \rangle$ свободного пробега атомов гелия, если плотность ρ газа равна $2 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. Эффективный диаметр d молекулы гелия равен 0,22 нм.
 12. Какое количество теплоты Q теряет помещение за время $t = 1$ ч через окно за счет теплопроводности воздуха, заключенного между рамами? Площадь каждой рамы $S = 4$ м², расстояние между ними $a = 30$ см. Температура воздуха в помещении $t_1 = 20$ °С, температура наружного воздуха $t_2 = -20$ °С. Средний эффективный диаметр молекул воздуха $d = 0,27$ нм. Температуру воздуха между рамами считать равной среднему арифметическому температур воздуха в помещении и наружного воздуха. Давление $p = 101,3$ кПа.
 13. Азот, занимавший объем $V_1 = 1$ л под давлением $p_1 = 2$ атм, расширился до объема $V_2 = 28$ л. Определить работу расширения газа, если расширение идет 1) изохорически; 2) изотермически; 3) изобарически; 4) адиабатно. Как соотносятся эти работы?
 14. Азот массой $m = 12$ г находится в закрытом сосуде объемом $V_1 = 2$ л при температуре $t_1 = 10^0$ С. После нагревания давление в сосуде стало равным $p_2 = 1,33$ МПа. Какое количество теплоты Q сообщено газу при нагревании?
 15. Азот, совершая цикл Карно, отдал холодильнику 67 % теплоты, полученной от нагревателя. Определить массу газа и температуру холодильника, если температура нагревателя $T_1 =$

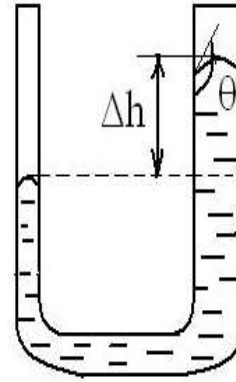
430 К, а объем газа в процессе изотермического расширения увеличился втрое при совершении им работы 18 кДж.

16. При нагревании 1 кмоль двухатомного газа его абсолютная температура увеличилась в 1,5 раза. Найти изменение энтропии, если нагревание происходит 1) изохорически; 2) изобарически.
17. Найти изменение энтропии при нагревании 100 г воды от 0 до 100° С и последующем превращении воды в пар той же температуры.

Реальный газ, жидкость, твердое тело

1. Давление p кислорода равно 8 МПа, его плотность $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$. Определить температуру газа, если: 1) газ идеальный (T_1); 2) газ реальный (T_2). Поправки Ван-дер-Ваальса $a = 0,136 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$ и $b = 3,17 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{моль}$.
2. Определить, какую силу следует приложить к горизонтальному медному кольцу высотой $h = 15 \text{ мм}$, внутренним диаметром $d_1 = 40 \text{ мм}$ и внешним $d_2 = 42 \text{ мм}$, чтобы оторвать его от поверхности воды. Плотность меди $\rho = 8,93 \text{ г/см}^3$, поверхностное натяжение воды $\sigma = 73 \text{ мН/м}$.
3. Определить давление воздуха в воздушном пузырьке диаметром $d = 0,01 \text{ мм}$, находящемся на глубине $h = 15 \text{ см}$ под поверхностью воды. Поверхностное натяжение воды $\sigma = 73 \text{ мН/м}$, ее плотность $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$. Атмосферное давление принять нормальным.
4. Найти массу m воды, вошедшей в стеклянную трубку с диаметром канала $d = 0,8 \text{ мм}$, опущенную в воду на малую глубину. Считать смачивание полным.
5. Глицерин поднялся в капиллярной трубке диаметром канала $d = 1 \text{ мм}$ на высоту $h = 20 \text{ мм}$. Определить поверхностное натяжение σ глицерина. Считать смачивание полным.
6. Какую работу A надо совершить при выдувании мыльного пузыря, чтобы увеличить его объем от $V_1 = 8 \text{ см}^3$ до $V_2 = 16 \text{ см}^3$? Считать процесс изотермическим. Поверхностное натяжение мыльного раствора $\sigma = 40 \text{ мН/м}$.
7. Какая энергия ΔE выделится при слиянии трех капель ртути радиусом $R = 0,8 \text{ мм}$ каждая? Поверхностное натяжение ртути $\sigma = 0,5 \text{ Н/м}$.

8. Узкое колено U -образного ртутного манометра имеет диаметр $d_1 = 2$ мм, широкое – $d_2 = 4$ мм (см. рис.). Определить разность Δh уровней ртути в обоих коленах, если поверхностное натяжение ртути $\sigma = 0,5$ Н/м, плотность ртути $\rho = 13,6$ г/см³, а краевой угол $\theta = 138^\circ$.



9. Определить число N атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку, первое координационное число n_1 (число ближайших атомов) и радиус r_1 первой координационной сферы (расстояние между ближайшими атомами) для решеток со структурами ПК, ОЦК, ГЦК, БЦК.
10. Найти плотность кристалла стронция, если известно, что решетка гранецентрированная кубической сингонии, а расстояние d между ближайшими соседними атомами равно $4,3 \text{ \AA}$.
11. Определить относительную атомную массу A_r кристалла, если известно, что расстояние d между ближайшими соседними атомами равно $0,304$ нм. Решетка объемно-центрированная кубической сингонии. Плотность кристалла равна $\rho = 534$ кг/м³.
12. Найти постоянную a решетки и расстояние d между ближайшими соседними атомами кристалла: 1) алюминия (решетка гранецентрированная кубической сингонии); 2) вольфрама (решетка объемно-центрированная кубической сингонии).
13. α -железо имеет структуру ОЦК с постоянной решетки $a_1 = 2,86 \text{ \AA}$, γ -железо – структуру ГЦК с $a_2 = 3,56 \text{ \AA}$. Определить относительное изменение плотности железа при переходе его из α - в γ -модификацию.
14. Определить концентрацию свободных электронов в литии, имеющем структуру ОЦК с постоянной решетки $a = 3,491 \text{ \AA}$.

15. Определить коэффициент упаковки для решеток со структурами 1) ПК; 2) ОЦК; 3) ГЦК, 4) БЦК.

Явления переноса. Реальный газ. Твердое тело

1. Определить среднюю длину $\langle \lambda \rangle$ и среднюю продолжительность свободного пробега молекул кислорода, находящегося при температуре 0°C , если среднее число столкновений $\langle z \rangle$, испытываемых молекулой в 1 с, равно $3,7 \cdot 10^9$.
2. Определить массу азота, прошедшего вследствие диффузии через площадку 50 см^2 за 20 с, если градиент плотности в направлении, перпендикулярном площадке, равен 1 кг/м^4 . Температура азота 290 К , а средняя длина свободного пробега его молекул равна 1 мкм .
3. Определить коэффициент теплопроводности κ азота, находящегося в некотором объеме при температуре 280 К . Эффективный диаметр молекул азота принять равным $0,38 \text{ нм}$.
4. Определить коэффициент теплопроводности κ азота, если коэффициент динамической вязкости η для него при тех же условиях равен $10 \text{ мкПа} \cdot \text{с}$.
5. Давление разреженного газа в рентгеновской трубке при температуре 17°C равно 130 мкПа . Можно ли вести разговор о высоком вакууме, если характерный размер l (расстояние между катодом и анодом трубки) составляет 50 мм ? Эффективный диаметр молекул воздуха принять равным $0,27 \text{ нм}$.
6. Давление p кислорода равно 8 МПа , его плотность $\rho = 100 \text{ кг/м}^3$. Определить температуру газа, если: 1) газ идеальный (T_1); 2) газ реальный (T_2). Поправки Ван-дер-Ваальса $a = 0,136 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$ и $b = 3,17 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{моль}$.
7. Углекислый газ массой 10 г находится в сосуде вместимостью 1 л . Принимая поправки Ван-дер-Ваальса $a = 0,361 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$ и $b = 4,28 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 / \text{моль}$, определить: 1) собственный объем V' молекул газа; 2) внутреннее давление p' газа.

8. Определить число N атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку, первое координационное число n_1 (число ближайших атомов), второе координационное число n_2 (число атомов, следующих за ближайшими) и радиус r_1 первой координационной сферы (расстояние между ближайшими атомами) и соответственно радиус r_2 второй координационной сферы для решеток со структурами ПК, ОЦК, ГЦК, БЦК.
9. Найти плотность кристалла стронция, если известно, что его решетка гранецентрированная кубической сингонии, а расстояние d между ближайшими соседними атомами равно $4,3 \text{ \AA}$.
10. Определить коэффициент упаковки для решеток со структурами 1) ПК; 2) ОЦК; 3) ГЦК, 4) БЦК.
11. Аллотропная модификация α -железа имеет структуру ОЦК с постоянной решетки $a_1 = 2,86 \text{ \AA}$, γ -железа – структуру ГЦК с $a_2 = 3,56 \text{ \AA}$. Определить относительное изменение плотности железа при переходе его из α - в γ -модификацию.
12. Определить концентрацию свободных электронов в литии, имеющем структуру ОЦК с постоянной решетки $a = 3,491 \text{ \AA}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грабовский Р. И. Курс физики. С.-Пб.: Лань, 2004. –608 с.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. М.: Высшая школа, 2004.–542 с.
3. Грибов Л. А., Прокофьева Н. И. Основы физики. Изд. 3. М.: Гардарики, 1998. –564 с.
4. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. М.: Высш. шк., 2002.
5. Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5-и т. М.: Наука, 1998.
6. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Мультимедийная лекция «Механика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013621314. 04.10.2013. Заявка № 2013620993 от 06.08.2013
7. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Мультимедийная лекция «Молекулярная физика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013621275. 30.09.2013. Заявка № 2013620987 от 02.08.2013.
8. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Мультимедийная лекция «Электричество» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013621183. 18.09.2013. Заявка № 2013620903 от 25.07.2013.
9. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Мультимедийная лекция «Оптика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013621316. 04.10.2013. Заявка № 2013620995 от 06.08.2013.
10. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Мультимедийная лекция «Квантовая физика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2013621276. 30.09.2013. Заявка № 2013620986 от 02.08.2013.
11. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Кинематика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014620459. 21.03.2014. Заявка № 2013621568 от 25.11.2013.
12. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Динамика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014620437. 17.03.2014. Заявка № 2013621566 от 25.11.2013.
13. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Молекулярная физика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014621234. 03.09.2014. Заявка № 2014620956 от 11.07.2014.
14. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Колебания» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014620170. 23.01.2014. Заявка № 2013621573 от 26.11.2013.

15. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Оптика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014620169. 23.01.2014. Заявка № 2013621572 от 26.11.2013.

16. Лебедев Д.В., Курзин Н.Н., Рожков Е.А. Тестовые задания на тему «Квантовая физика» // Свидетельство о регистрации базы данных RU 2014621233. 03.09.2014. Заявка № 2014620955 от 11.07.2014.

17. Лебедев Д. В., Рожков Е. А., Харченко С. Н. Способы оптико-электронного анализа при сортировке семян сельскохозяйственных культур // АгроЭкоИнфо. – 2019, №3.

18. Лебедев Д. В., Рожков Е. А., Леонов В. А., Мальнев И. Д. Применение электротехнологических оптико-электронных способов в хлебопекарном производстве для определения качества пшеничной муки и концентрации мучной пыли в воздухе // АгроЭкоИнфо. – 2019, №4.

19. Лебедев Д. В., Рожков Е. А. Отсортировка по цвету зараженных фузариозом и головней семян пшеницы в многокритериальном фотоэлектронном сепараторе // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. Vol. 4. N37.

20. Лебедев Д. В., Горская Е. С., Лебедев И. Д. Лебедев И. Д. Центробежный шелушитель семян зерновых культур. // Патент на полезную модель RU 191291 U1, 01.08.2019. Заявка № 2019100474 от 21.02.2017.

21. Лебедев Д. В. Параметры процесса распознавания семян люцерны в семенном материале высокоточным оптико-электронным способом: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Краснодар, 2005г. – 149 с.

22. Лебедев Д. В. Оптико-электронный экспресс-анализ засоренности семян люцерны трудноотделимыми сорняками / Рутковский И. А., Цыганков Б. К., Бурлин В. Д., Лебедев Д. В. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2003г. – №11. – с. 8-9.

23. Лебедев Д.В., Цыганков Б.К. Оптико-электронный экспресс-анализ семенного материала: монография. Кубанский государственный аграрный университет. Краснодар. 2014. 148 с.

24. Бурлин С.В., Лебедев Д.В., Лобунец В.А. Способ сортировки семян. // Патент на изобретение RU 2245198 C1, 27.01.2005. Заявка № 2003126947/12 от 03.09.2003.

25. Лебедев Д.В., Цыганков Б.К., Москаленко Ф.В., Бурлин С.В., Лебедева В.А. Подготовка бинарного изображения семян к оцифровке (очистка, фильтрация, центровка, ориентация) // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2005612694. Заявка № 2005611436 от 14.06.2005.

26. Лебедев Д.В., Цыганков Б.К., Москаленко Ф.В., Бурлин С.В., Лебедева В.А. Оцифровка бинарного изображения семян и расчет семени по заданным геометрическим признакам // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2005612046. Заявка № 2005611437 от 14.06.2005.

27. Лебедев Д.В., Цыганков Б.К., Москаленко Ф.В., Бурлин С.В., Лебедева В.А. Сравнение двух групп бинарного изображения семян по заданным расчетам с построением графиков // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2005612048. Заявка № 2005611439 от 14.06.2005.

28. Трубилин Е.И., Бурлин С.В., Москаленко Ф.В., Лебедев Д.В., Брусенцов А.С. Расчет массы семени по его визуальному образу // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2007610437. Заявка № 2006614071 от 27.11.2006.

29. Лебедев Д.В., Безверхий В.А. Распознавание семян опико-электронным способом и управления системой установки // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2019667524, 24.12.2019. Заявка № 2019666425 12.12.2019.

30. Лебедев Д.В., Рожков Е.А. Исследование зараженности семян пшеницы фузариозом опико-электронным методом // Сборник научных статей по итогам десятой международной научной конференции «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство». – 2019, с. 165-167.

31. Лебедев Д.В., Бершицкая Г.Ф., Клементьев А.К., Горская Е.С. Определение альтернариоза на листьях томата опико-электронным способом // Форум молодых ученых. – 2018, с. 20-24.

32. Физика: Учеб. - метод. пособие для студентов направления 36.03.02 «Зоотехния (Технология производства продуктов животноводства)»/ Д. В. Лебедев, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 130.

33. Физика: Рабочая тетрадь для студентов факультета зоотехнии по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния / Д. В. Лебедев, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 65.

34. Физика: Метод. рекомендации для самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 36.03.02 Зоотехния / Д. В. Лебедев, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 97.

35. Электротехнологии в сельском хозяйстве: Учеб. - метод. Пособие для студентов направления 35.03.06 "Агроинженерия (Электрооборудование и электротехнологии)"/ Д. В. Лебедев, Д. А. Нормов, Н. Н. Курзин, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 118.

36. Электротехнологии в сельском хозяйстве: Учеб. - метод. Пособие по выполнению лабораторных работ для студентов направления 35.03.06 "Агроинженерия (Электрооборудование и электротехнологии)"/Д. В. Лебедев, Д. А. Нормов, Н. Н. Курзин, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 158.

37. Электротехнологии в сельском хозяйстве: Учеб. - метод. Пособие по выполнению курсовых работ для студентов направления 35.03.06 "Агроинженерия (Электрооборудование и электротехнологии)"/ Д. В. Лебедев, Д. А. Нормов, Н. Н. Курзин, Е.А. Рожков. - Краснодар 2020.- С. 103.

ПРИЛОЖЕНИЯ

А 1. Основные физические постоянные (округленные значения)

Физическая постоянная	Обозначение	Значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	$9,81 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 / (\text{кг} \cdot \text{с}^2)$
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярная газовая постоянная	R	$8,31 \text{ Дж} / (\text{моль} \cdot \text{К})$
Молярный объем идеального газа при н.у.	V_{Om}	$22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{моль}$
Постоянная Больцмана	k	$1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Скорость света в вакууме	c	$3,00 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Постоянная Стефана-Больцмана	σ	$5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$
Постоянная закона смещения Вина	b	$2,90 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$
Постоянная Планка	h	$6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
	$\hbar$	$1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Постоянная Ридберга	R	$1,10 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$
Радиус Бора	a_o	$0,529 \cdot 10^{-10} \text{ м}$
Комптоновская длина волны электрона	Λ	$2,43 \cdot 10^{-12} \text{ м}$
Магнетон Бора	μ_B	$0,927 \cdot 10^{-23} \text{ А} \cdot \text{м}^2$
Энергия ионизации атома водорода	E_i	$2,18 \cdot 10^{-18} \text{ Дж} (13,6 \text{ эВ})$
Атомная единица массы	$a.e.m.$	$1,660 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Электрическая постоянная	ε_o	$8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} / \text{м}$
Магнитная постоянная	μ_B	$4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн} / \text{м}$

А 2. Некоторые астрономические величины

Наименование	Значение
Радиус Земли	$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Земли	$5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$
Радиус Солнца	$6,95 \cdot 10^8 \text{ м}$
Масса Солнца	$1,98 \cdot 10^{30} \text{ кг}$
Радиус Луны	$1,74 \cdot 10^6 \text{ м}$
Масса Луны	$7,33 \cdot 10^{22} \text{ кг}$
Расстояние от центра Земли до центра Солнца	$1,49 \cdot 10^{11} \text{ м}$
Расстояние от центра Земли до центра Луны	$3,84 \cdot 10^8 \text{ м}$

А 3. Плотность твердых тел

Твердое тело	Плотность, кг/м^3
Алюминий	$2,70 \cdot 10^3$
Барий	$3,50 \cdot 10^3$
Ванадий	$6,02 \cdot 10^3$
Висмут	$9,80 \cdot 10^3$
Железо	$7,88 \cdot 10^3$
Литий	$0,53 \cdot 10^3$
Медь	$8,93 \cdot 10^3$
Никель	$8,90 \cdot 10^3$
Свинец	$11,3 \cdot 10^3$
Серебро	$10,5 \cdot 10^3$
Цезий	$1,90 \cdot 10^3$
Цинк	$7,15 \cdot 10^3$

А 4. Плотность жидкостей

Жидкость	Плотность, кг/м ³
Вода (при 4 °С)	$1,00 \cdot 10^3$
Глицерин	$1,26 \cdot 10^3$
Ртуть	$13,6 \cdot 10^3$
Сероуглерод	$1,26 \cdot 10^3$
Спирт	$0,80 \cdot 10^3$

А 5. Плотность газов (при нормальных условиях)

Газ	Плотность, кг/м ³
Водород	0,09
Воздух	1,29
Гелий	0,18
Кислород	1,43

А 6. Коэффициент поверхностного натяжения жидкостей

Жидкость	Коэффициент, мН/м
Вода	72
Мыльная вода	40
Ртуть	500
Спирт	22

А 7. Эффективный диаметр молекулы

Газ	Диаметр, м
Азот	$3,0 \cdot 10^{-10}$
Водород	$2,3 \cdot 10^{-10}$
Гелий	$1,9 \cdot 10^{-10}$
Кислород	$2,7 \cdot 10^{-10}$

А 8. Диэлектрическая проницаемость

Вещество	Проницаемость
Вода	81
Масло трансформаторное	2,2
Парафин	2,0
Стекло	7,0

А 9. Удельное сопротивление металлов

Металл	Удельное сопротивление металлов, Ом·м
Железо	$9,8 \cdot 10^{-8}$
Медь	$1,7 \cdot 10^{-8}$
Нихром	$1,1 \cdot 10^{-6}$
Серебро	$1,6 \cdot 10^{-8}$

А 10. Энергия ионизации

Вещество	E_i , Дж	E_i , эВ
Водород	$2,18 \cdot 10^{-18}$	13,6
Гелий	$3,94 \cdot 10^{-18}$	24,6
Литий	$1,21 \cdot 10^{-17}$	75,6
Ртуть	$1,66 \cdot 10^{-18}$	10,4

А 11. Подвижность ионов в газах, $\text{м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$

Газ	Положительные ионы	Отрицательные ионы
Азот	$1,27 \cdot 10^{-4}$	$1,81 \cdot 10^{-4}$
Водород	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$7,4 \cdot 10^{-4}$
Воздух	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$1,9 \cdot 10^{-4}$

А 12. Относительные атомные массы (округленные значения) A_r и порядковые номера Z некоторых элементов

Вещество	Символ	A	Z
Азот	N	14	7
Алюминий	Al	27	13
Аргон	Ar	40	18
Барий	Ba	137	56
Ванадий	Va	60	23
Водород	H	1	1
Вольфрам	V	184	74
Гелий	He	4	2
Железо	Fe	56	26
Золото	Au	197	79
Калий	K	39	19
Кальций	Ca	40	20
Кислород	O	16	8
Магний	Mg	24	12
Марганец	Mn	55	25
Медь	Cu	64	29
Молибден	Mo	96	42
Натрий	Na	23	11
Неон	Ne	20	10
Никель	Ni	59	28
Олово	Sn	119	50
Платина	Pt	195	78
Ртуть	Hg	201	80
Сера	S	32	16
Серебро	Ag	108	47
Уран	U	238	92
Углерод	C	12	6
Хлор	Cl	35	17

А 13. Показатель преломления

Вещество	Показатель
Алмаз	2,42
Вода	1,33
Глицерин	1,47
Стекло	1,50

А 14. Работа выхода электронов

Металл	A , Дж	A , эВ
Калий	$3,5 \cdot 10^{-19}$	2,2
Литий	$3,7 \cdot 10^{-19}$	2,3
Платина	$10 \cdot 10^{-19}$	6,3
Рубидий	$3,4 \cdot 10^{-19}$	2,1
Серебро	$7,5 \cdot 10^{-19}$	4,7
Цезий	$3,2 \cdot 10^{-19}$	2,0
Цинк	$6,4 \cdot 10^{-19}$	4,0

А 15. Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц и их наименования

Приставка		Множитель	Приставка		Множитель
Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение	
экса	Э	10^{18}	деци	д	10^{-1}
пэта	П	10^{15}	санتي	с	10^{-2}
тера	Т	10^{12}	милли	м	10^{-3}
гига	Г	10^9	микро	мк	10^{-6}
мега	М	10^6	нано	н	10^{-9}
кило	к	10^3	пико	п	10^{-12}
гекто	г	10^2	фемто	ф	10^{-15}
дека	да	10^1	атто	а	10^{-18}

А 16. Греческий алфавит

Обозначения букв	Названия букв
A, α	альфа
B, β	бета
Γ, γ	гамма
Δ, δ	дэльта
E, ε	эпсилон
Z, ζ	дзета
H, η	эта
Θ, θ	тэта
I, ι	иота
K, κ	каппа
Λ, λ	ламбда
M, μ	ми
N, ν	ни
Ξ, ξ	кси
O, o	омикрон
Π, π	пи
P, ρ	ро
$\Sigma, \sigma, \varsigma$	сигма
T, τ	тау
Υ, υ	ипсилон
Φ, ϕ	фи
χ, χ	хи
Ψ, ψ	пси
Ω, ω	омега

Латинский алфавит

Обозначения букв	Названия букв
A, a	а
B, b	бе
C, c	це
D, d	де
E, e	е
F, f	эф
G, g	же (ге)
H, h	аш
I, i	и
J, j	йот (жи)
K, k	ка
L, l	эль
M, m	эм
N, n	эн
O, o	о
P, p	пэ
Q, q	ку
R, r	эр
S, s	эс
T, t	тэ
U, u	у
V, v	вэ
W, w	дубль-вэ
X, x	икс
Y, y	игрек
Z, z	зет

А 17. Внесистемные единицы, допущенные к применению в учебном процессе по физике (в соответствии со стандартом СЭВ 1052-78)

Величина	Единица		
	наименование	обозначение	соотношение с единицей СИ
Время	минута	мин	$60\ c$
	час	ч	$3600\ c$
	сутки	сут	$86400\ c$
Плоский угол	градус	$\dots^\circ$	$(\pi / 180)$ $рад = 1,74 \cdot 10^{-2}\ рад$
	минута	$\dots'$	$(\pi / 10800)$ $рад = 2,91 \cdot 10^{-4}\ рад$
	секунда	$\dots''$	$(\pi / 648000)$ $рад = 4,85 \cdot 10^{-6}\ рад$
Объем, вместимость	литр	л	$10^{-3}\ м^3$
Энергия	электрон-вольт	эВ	$1,60 \cdot 10^{-19}\ Дж$
Масса	тонна	т	$1000\ кг$
	атомная единица массы	а.е.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}\ кг$
Оптическая сила	диоптрия	дптр	$1\ м^{-1}$
Относительная величина	процент	%	10^{-2}
	промилле	‰	10^{-3}
	миллионная доля	$млн^{-1}$	10^{-6}
Логарифмическая величина	бел	Б	-
	децибел	дБ	-