



О. Ф. Кабардин

ФИЗИКА

7
класс

Учебник
для общеобразовательных
организаций

*Рекомендовано Министерством образования
и науки Российской Федерации*

3-е издание

Москва «Просвещение» 2014

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72
К12

На учебник получены **положительные заключения** по результатам научной (заключение РАН № 10106-5215/10 от 29.09.2011 г.), педагогической (заключения РАО № 01-5/7д-390 от 17.10.2011 г. и № 317 от 29.01.2014 г.) и общественной (заключение РКС № 298 от 07.02.2014 г.) экспертиз.

Кабардин О. Ф.
К12 Физика. 7 класс : учеб. для общеобразоват. организаций / О. Ф. Кабардин. — 3-е изд. — М. : Просвещение, 2014. — 176 с. : ил. — ISBN 978-5-09-033364-1.

Предлагаемый учебник — один из основных элементов предметной линии УМК «Архимед» по физике. Он способствует достижению образовательных результатов (личностных, метапредметных и предметных) по физике в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта основного общего образования.

Учебник имеет фиксированный формат. Материал учебника предполагает изучение всех тем курса физики на уровне ознакомления с физическими явлениями, формированием основных физических понятий, определения физических величин, приобретения умения измерять физические величины, применения полученных знаний на практике.

Учебник содержит рубрики, соответствующие видам учебной деятельности («Экспериментальное задание», «Прочтите», «Найдите», «Дискуссия», «Темы сообщений» и др.).

В нём содержатся тестовые задания для эффективной подготовки к итоговой аттестации.

Учебник предназначен для учащихся 7 класса основной школы.

УДК 373.167.1:53
ББК 22.3я72

ISBN 978-5-09-033364-1

© Издательство «Просвещение», 2009, 2013
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2009
Все права защищены

Вы начинаете изучать физику. Что такое физика и зачем её нужно изучать?

Физика изучает все явления, происходящие в неживой природе. Эта наука объясняет, откуда появляются в небе облака и почему из них идёт дождь, отчего возникают молнии и гремит гром, почему лёгкие снежинки падают на землю, а тяжёлый воздушный шар поднимается в небо. Физика не только объясняет происходящие в мире явления, но и находит способы их практического применения. На основе изучения природных явлений и физических законов изобретены автомобили и самолёты, электрические генераторы и электромоторы, кино, магнитофоны, лазеры, радио, телевидение, мобильные телефоны, компьютеры, телескопы и космические корабли.

В прошлом профессиональные знания и умения передавались почти без изменений от поколения к поколению на протяжении столетий. Сегодня за время жизни одного человека мир техники вокруг него меняется так быстро, как никогда ранее в истории человечества. Человек, который в начале XX в. ездил на лошади и для прослушивания звукозаписи заводил патефон, в дальнейшем должен был научиться пользоваться автомобилем, самолётом, стереофоническим проигрывателем, магнитофоном, CD-плеером, флэш-памятью. Человеку необходимо довольно много знать из физики для успешного и безопасного пользования современной бытовой техникой, средствами транспорта и связи, компьютерной техникой.

А в будущем человека ожидают ещё более значительные перемены. Добиться успеха в быстро меняющемся мире удаётся тем, кто постоянно его изучает, умеет распознавать причины и следствия явлений, выявлять закономерности происходящих изменений и планировать свои действия в соответствии с поставленными целями. Опыт изучения физики поможет овладеть методами познания окружающего мира, более полезными для любого человека, чем простой набор готовых знаний.

Углублённое изучение физики не единственно возможный способ развития интеллектуальных способностей человека. Кому-то более интересны, например, занятия математикой или биологией, изучение компьютерных программ или изготовление моделей. Данный учебник построен так, чтобы им было удобно пользоваться как ученикам, у которых физика — один из любимых предметов, так и учащимся, интересующимся другими учебными предметами. Для этого материал каждого параграфа разделён на две части — имеет два разворота. На первом развороте (две страницы) приведён материал, которым должен овладеть каждый ученик. Материал второго разворота

(следующие две страницы) предназначен для учащихся, проявляющих повышенный интерес к физике и желающих расширить и углубить свои знания.

В содержание параграфов включены экспериментальные задания для учащихся разной формы организации: самостоятельная работа, работа в группе, работа в паре, а также проектные, творческие и индивидуальные задания. Для закрепления изученного материала и самоконтроля даны вопросы и задачи. Дополнительную информацию по теме можно найти по ссылкам на литературу и сайты в Интернете. Для подготовки рефератов и сообщений учащимся на выбор предложены темы.

Для проверки усвоения учащимися полученных знаний и умений в конце тем даны четыре теста и в конце учебника — итоговый тест за курс 7 класса.

Тест состоит из простых задач, для решения которых не требуются сложные вычисления. К каждой задаче дано несколько вариантов ответа, из которых нужно выбрать правильный.

Если тест содержит задание в форме незаконченного предложения, то нужно из предложенных завершений выбрать правильное.

В некоторых заданиях в качестве возможных ответов предлагаются утверждения, каждое из которых в принципе является верным с точки зрения физики, но только одно из этих утверждений является правильным ответом на вопрос задания. Поэтому всегда нужно очень внимательно читать условие задачи и возможные варианты ответа.

Для подготовки к тестовому контролю нужно просмотреть весь материал темы по учебнику, подготовить ответы на контрольные вопросы к изученным параграфам, ознакомиться с решениями задач. После выполнения заданий тематического теста нужно проверить решение по кодам правильных ответов в конце учебника. Допущенные ошибки следует проанализировать и при необходимости вернуться к изучению соответствующих тем.

01

Физика и физические методы изучения природы

1	Физические явления	6
2	Физические величины. Измерение длины	10
3	Измерение времени	14

§ 1. Физические явления



Фалес Милетский



Рис. 1.1. Магнитное притяжение



Рис. 1.2. Радуга

Физика. Около 2500 лет тому назад человеческое общество достигло такого уровня развития, что небольшая часть людей получила возможность заниматься изучением устройства окружающего мира. Одной из наук о природе была физика. Слово «физика» произошло от греческого слова *physis* — природа.

Физика изучает простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, законы её движения. Одним из первых физиков в Европе считается древнегреческий философ, родоначальник античной и вообще европейской философии и науки **Фалес** (ок. 625—547 до н. э.), живший в городе Милете. Он наблюдал притяжение железа магнитом (рис. 1.1), электрическое притяжение лёгких тел янтарём после его натирания и многие другие **физическкие явления**. Среди современников он прославился предсказанием солнечного затмения в 585 г. до н. э.

Физические явления. Любые изменения в неживой природе называют **физическими явлениями**. Многие физические явления человек может наблюдать с помощью органов чувств. Восход солнца и появление радуги после дождя, возникновение облака и звук грома, течение воды в реке и превращение воды в лёд зимой — всё это примеры физических явлений.

Наблюдение, гипотеза и опыт. Глядя на радугу в небе, человек проводит **наблюдение** природного явления. Предположение человека о том, что радуга (рис. 1.2) возникает в каплях дождя при разложении белого света от Солнца в свет разных цветов, называют **научной гипотезой**. Специальное разбрзгивание воды для наблюдения радуги называют **опытом** или **экспериментом** для проверки гипотезы. Основой физики являются наблюдения и эксперименты. Поэтому физику называют **экспериментальной наукой**.

Для чего нужны наблюдения, гипотезы и опыты. Изучение свойств окружающего мира необходимо человеку для защиты своей жизни от опасных природных явлений, для улучшения её условий. Молния способна убить человека, от её удара может возникнуть пожар. Чтобы увериться от молнии, надо знать, отчего она бывает, каковы её свойства. Предположив, что электрические искры по своей природе подобны молниям, можно в опытах изучить свойства этих маленьких молний и разработать способы защиты от настоящих молний (рис. 1.3). На основе опытов с искрами был изобретён молниепровод.

Учёные занимаются физикой не только для изменения условий жизни людей, но и для того, чтобы задавать Природе всё новые вопросы и получать от неё замысловатые ответы.



Рис. 1.3. Молния

Научное открытие. Иногда во время опытов по изучению известных природных явлений обнаруживается новое физическое явление. Так делается **научное открытие**. Например, при выполнении датским физиком Эрстедом в 1820 г. опыта по нагреванию провода электрическим током было замечено, что находящаяся вблизи провода магнитная стрелка при пропускании тока повернулась. Так была открыта способность электрического тока действовать на магнитную стрелку.

Физические приборы. Физическими приборами называют изготовленные человеком устройства, предназначенные для измерения физических величин. Физическими приборами являются измерительная линейка для сравнения размеров тел, весы для сравнения способности тел притягиваться к Земле (рис. 1.4), измерительный цилиндр для определения объема тел любой формы, секундомер для измерения времени, термометр для измерения температуры тел, магнитная стрелка для обнаружения магнитного поля, недоступного органам чувств человека, стеклянная линза, способная давать увеличенные или уменьшенные изображения предметов (рис. 1.5).



Рис. 1.4. Весы



Рис. 1.5. Линза

?

Вопросы

1. Что изучает физика?
2. Что называют физическим явлением?
3. Для чего нужны физические приборы?
4. Чем отличается физический опыт, или эксперимент, от наблюдения природного явления?
5. Приведите примеры наблюдений природных явлений и физических опытов. Зачем нужны наблюдения, гипотезы и физические опыты?
6. Что называют научным открытием?

Зачем и как выполняют опыты. Опыт в физике выполняется в том случае, если обнаруживается **проблема**, требующая для своего решения экспериментального исследования природного явления. Перед выполнением опыта обычно высказывается **гипотеза** о его возможном результате или даже несколько различных гипотез. Эксперимент должен быть **спланирован** и **выполнен** так, чтобы его результаты могли дать ответ на вопрос, какая из гипотез правильная. После выполнения эксперимента необходима запись его результатов. Заканчивается эксперимент формулированием выводов. Рассмотрим последовательность экспериментального изучения природного явления на конкретном примере.



Аристотель

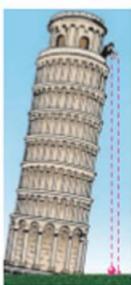


Рис. 1.6. Опыт Галилея

Изучение явления падения тел. (Постановка проблемы.) Все видели явление падения тел на землю. Рассмотрим это простое природное явление и выясним, какие проблемы могут возникать при его внимательном изучении.

У меня в руке две монеты — одна маленькая, другая большая. Отпускаю одну монету — она падает на пол. Отпускаю другую — и она падает на пол. Падение тел — физическое явление. Какова причина этого явления? Причиной падения всех тел на землю является земное притяжение.

А теперь **проблема 1:** если отпустить большую и маленькую монеты одновременно с одинаковой высоты, то какая из них раньше долетит до пола?

Подумайте и попробуйте решить эту проблему или выскажите свою гипотезу. Формулировку гипотезы начинают словами: «Я предполагаю, что...» или «Я думаю, что...».

Возможны три гипотезы:

1) раньше долетит до пола большая монета, так как она тяжелее;

2) раньше долетит маленькая монета, так как лёгкие тела легче привести в движение;

3) большая и маленькая монеты долетят одновременно.

Если вы выбрали первую гипотезу, то оказались единомышленниками древнегреческого философа и учёного Аристотеля, учителя великого полководца Александра Македонского. Мнение Аристотеля о законах падения тел считалось правильным на протяжении почти 2000 лет.

Какая из гипотез о падении тел правильная, учёные спорили многие столетия. Эти споры были закончены после того, как примерно в 1590 г. итальянский учёный Галилео Галилей выполнил опыт по наблюдению падения с высокой наклонной (падающей) башни двух шаров, один из которых был во много раз тяжелее другого (рис. 1.6).

● Экспериментальное задание 1.1



Рис. 1.7. Опыт с двумя монетами

Работаем самостоятельно

Наблюдение явления падения тел

Оборудование: монеты 5 рублей и 5 копеек.

Большую и маленькую монеты отпустите одновременно с одинаковой высоты над полом и постараитесь заметить, одновременно ли они достигают пола (рис. 1.7). Момент столкновения можно зарегистрировать по звуку удара монет о пол.

Сначала отпустите монеты одновременно с разной высоты. При этом вы должны услышать два звука ударов.

Затем отпустите монеты одновременно с одинаковой высоты и попробуйте заметить, слышны ли два звука ударов монет, или слышен только один звук удара.

Опыт показал, что эти шары достигают поверхности земли практически одновременно. С опытов Галилея в физике основным методом проверки гипотез стал экспериментальный метод.

Опыт Галилея с падающими шарами и ваш собственный опыт с разными монетами доказали правильность третьей гипотезы о явлении падения тел на землю: тяжёлые и лёгкие тела падают на землю с одинаковой высоты за одинаковое время. Но на этом проблемы, связанные с явлением падения тел, не кончились.

Проблема 2. А теперь возьмите монету и небольшое птичье перо (рис. 1.8). Как вы думаете, они упадут с одинаковой высоты за одинаковое время? Сформулируйте свою гипотезу и проверьте её на опыте.

Опыт по наблюдению падения с одинаковой высоты монеты и птичьего пера показывает, что монета достигает пола значительно раньше пера. Этот результат приводит к возникновению третьей проблемы при изучении явления падения тел.

Проблема 3. Опыт с двумя разными монетами показал, что большое и маленькие тела падают с одинаковой высоты на землю за одинаковое время, а опыт с монетой и пером показал, что монета падает с той же высоты за более короткое время, чем лёгкое перо. Какой же общий вывод можно сделать о явлении падения тел, если два опыта дают противоположные результаты?

Помочь решению третьей проблемы может прибор, называемый трубкой Ньютона (рис. 1.9). Это стеклянная трубка, в которой находятся кусочек свинца, кусочек пробки и птичье перо. Трубка может присоединяться шлангом к воздушному насосу.

При переворачивании трубки хорошо видно, что при падении с одинаковой высоты первым достигает дна трубки кусочек свинца, затем кусочек пробки и после них птичье перо.

Можно предположить, что причиной более долгого времени падения пера является влияние на него сопротивления воздуха. Чтобы проверить это предположение, нужно выкачивать воздух из трубки воздушным насосом и повторить опыт.



Рис. 1.8. Опыт с монетой и пером

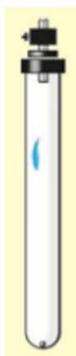


Рис. 1.9. Трубка Ньютона

● Экспериментальное задание 1.2

Работаем в группе

Ознакомьтесь с устройством и принципом действия воздушного насоса, имеющегося в кабинете физики.

Один из вас должен подготовить рассказ о принципе действия насоса, другой должен сопровождать рассказ демонстрацией устройства насоса и его действия.

Подготовьте для демонстрации на уроке опыт по наблюдению свободного падения свинцовых дробинок и птичьего пера в стеклянном цилиндре. Затем повторите опыт с тем же цилиндром после выкачивания из него воздуха.

Вопросы

- Какую гипотезу можно высказать о причине более долгого падения птичьего пера?
- Какой эксперимент нужно подготовить и выполнить для проверки этой гипотезы?

§ 2. Физические величины. Измерение длины



Рис. 2.1



Рис. 2.2. Измерение длины удава

! Запомните

Обозначения единиц длины

- 1 метр — 1 м
- 1 сантиметр = 0,01 м = 1 см
- 1 миллиметр = 0,001 м = 1 мм
- 1 километр = 1000 м = 1 км

Физические свойства тел. Любое тело по своим физическим свойствам чем-то сходно с некоторыми телами и чем-то отличается от других тел. Характеристики тел и природных процессов, измеряемые количественно, называются **физическими величинами**.

Измерение длины. При описании предметов мы называем их длину, высоту, ширину, расстояние между телами. **Расстояние, или длина**, — физическая величина.

В повседневной жизни расстояния можно измерять шагами. Точность измерения расстояний в шагах не соответствовала потребностям науки, техники и повседневной практики даже в XIX в. В 1799 г. во Франции за единицу измерения расстояния была принята одна сорокамиллионная доля длины земного меридиана, проходящего через Париж (рис. 2.1). Эту единицу длины назвали *метр* (от древнегреческого слова «метрон», что означает «мера»). В настоящее время метр используется в качестве основной единицы длины во всех странах.

Метр. Для измерения размеров предметов и расстояний был изготовлен эталон метра из сплава иридия и платины. Одна сотая доля метра называется *сантиметр*, одна тысячная доля — *миллиметр*. Большие расстояния измеряются *километрами*.

Невозможно на всей Земле для измерения длины пользоваться одним эталоном метра. Поэтому изготовили несколько копий эталона метра, а по копиям эталона изготавливают измерительные инструменты.

Для измерения расстояний используют измерительные ленты (рис. 2.2), измерительные линейки с сантиметровыми и миллиметровыми делениями. Небольшие предметы с точностью до десятых и сотых долей миллиметра измеряют штангенциркулем или микрометром.

● Домашнее экспериментальное задание 2.1

Работаем самостоятельно

Измерение длины

Оборудование: измерительная линейка, измерительная лента.

Измерьте длину *l* своего шага, расстояние *s* между концами пальцев расставленных рук, максимальное расстояние *a* между концами большого и указательного пальцев руки.

Порядок выполнения задания

1. Для измерения длины *l* шага встаньте вплотную спиной к стене и пройдите от неё обычным шагом пять шагов по прямой. Положите на пол карандаш вплотную к пятке ноги, которая сделала пятый шаг. С помощью измерительной ленты измерьте расстояние *L* от стены до карандаша и вычислите длину своего шага. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица 2.1

Расстояние L , м	Число шагов n	Длина шага l , м	Размах рук s , м	Четверть a , см

2. Чтобы измерить расстояние s между концами пальцев расставленных рук, один ученик раздвигает руки горизонтально, другой измеряет расстояние s измерительной лентой (рис. 2.3). Затем они меняются ролями. Результаты измерений запишите в таблицу. Расстояние между концами пальцев расставленных рук взрослого человека на Руси называлось сажень. Сажень была мерой длины.



Рис. 2.3. Сажень

3. Для измерения расстояния a между концами большого и указательного пальцев руки (четверть) конец большого пальца установите на нулевой штрих шкалы линейки и сделайте отсчёт в сторону конца указательного пальца (рис. 2.4). Результаты измерений запишите в таблицу.

Запомните результаты своих измерений. Они вам могут пригодиться, если вдруг возникнет необходимость хотя бы приблизительно измерить размеры каких-то предметов или расстояний, а никаких измерительных средств у вас не будет. Воспользуйтесь в таком случае своими шагами, размахом рук, четвертью. Иногда необходимо также знать, какие две точки на вашем теле находятся на расстоянии 1 м. У взрослого мужчины среднего роста это расстояние от конца большого пальца горизонтально расположенной правой руки до края левого плеча. Зная две точки на своём теле, находящиеся на расстоянии 1 м, вы всегда при необходимости изготовите «копию эталона метра» из нити, ленты, палки.



Рис. 2.4. Четверть

Некоторые старые русские и зарубежные единицы длины

- 1 вершок = 4,445 см
- 1 аршин = 16 вершков = 0,7112 м
- 1 сажень = 3 аршина = 2,1336 м
- 1 верста = 500 саженей = 1066,8 м
- 1 дюйм = 2,54 см
- 1 фут = 12 дюймов = 30,48 см
- 1 ярд = 3 фута = 36 дюймов = 91,44 см
- 1 морская миля = 1852 м

Вопросы

1. Почему нужна единая система мер длины во всех странах?
2. Какие природные основы выбиравались сначала для единиц длины?
3. Что послужило природной основой для единицы длины, названной метром?

История метра. Потребность определять размеры предметов и расстояния между ними возникла у человека в глубокой древности. На протяжении тысячелетий каждая страна имела свои меры длины. Это усложнило развитие торговых связей между государствами. Первой системой мер, принятой в 1875 г. в качестве международной системы, была метрическая система мер. Основной единицей длины в метрической системе мер был **метр**. Само название первой Международной системы мер произошло от слова «метр». В качестве эталона длины была взята длина земного меридиана как природная, неизменная и в любое время восстанавливаемая мера длины. На основе измерений длины меридиана изготовили эталон метра и сдали на хранение в архив Французской республики. Этот эталон стали называть архивным метром. Для использования метра в качестве единицы длины в странах, принявших метрическую систему, были изготовлены копии эталона метра из прочного сплава платины и иридиума.

Как измерили радиус Земли. Первое измерение радиуса Земли выполнил греческий учёный Эратосфен (276–195 гг. до н. э.). Он узнал от купцов, что один раз в году, в день летнего солнцестояния, в египетском г. Сиене (теперь г. Асуан) Солнце в полдень освещает дно самого глубокого колодца, т. е. проходит через точку зенита. В этот день Эратосфен в г. Александрии, расположенному почти точно на одном географическом меридиане с г. Сиеной, измерил в полдень угловое расстояние от Солнца до точки зенита (рис. 2.5). Это расстояние оказалось равным $7,2^\circ$, или $1/50$ от 360° . Отсюда он сделал вывод, что расстояние от Сиены до Александрии составляет $1/50$ часть земной окружности. Узнав от купцов, что расстояние от Александрии до Сиены равно 5000 египетских единиц длины — стадий, Эратосфен вычислил длину земного меридиана: $5000 \text{ стадий} \cdot 50 = 250\,000 \text{ стадий}$.

По некоторым сведениям, стадия была равна примерно 157 м. В этом случае длина земного меридиана, по Эратосфену, равна примерно 39 000 км, что очень близко к результатам современных измерений. Таким образом, уже более 2000 лет тому назад астрономы имели правильные представления о форме и размерах Земли.

Современное определение метра. По современным научным данным, длина земного меридиана не остаётся строго постоянной из-за перемещений континентов по планете, поднятий и опусканий участков суши относительно уровня моря. Платиноиридевый эталон также подвержен изменениям. Поиски способа создания неизменного природного эталона длины привели к выбору нового способа определения единицы длины. Современной физикой установлено, что скорость распространения света в вакууме не зависит от движения источника или приёмника света, не изменяется и с течением времени. Она равна $299\,792\,458 \text{ м/с}$. Поэтому с 1983 г. в Международной системе единиц принято следующее определение метра: метр — это расстояние, которое свет проходит в вакууме за $1/299\,792\,458$ долю секунды (рис. 2.6). Такое определение метра не изменило размер единицы длины, но связало ее с неизменной природной постоянной величиной,

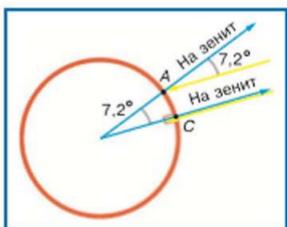


Рис. 2.5. Измерение радиуса Земли

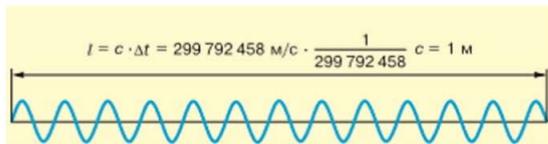


Рис. 2.6. Определение метра через скорость распространения света в вакууме

воспроизводимой при наличии необходимых приборов с высокой точностью в любом месте и в любое время.

Главным результатом этого изменения является повышение точности измерения расстояний. На основе измерений длины земного меридиана длина метра была определена с точностью до 0,06 мм. Длина металлического прототипа метра в 1889 г. была определена с точностью до 0,002 мм. Определение метра в 1983 г. через скорость света привело к повышению точности измерения длины примерно в 3000 раз. Метр теперь определяется с ошибкой не более 0,0000007 мм.

● Экспериментальное задание 2.2

Работаем самостоятельно

Определение цены деления шкалы измерительного прибора

Содержание работы

Многие измерительные приборы имеют шкалу. Шкала может иметь вид прямой полосы линий, как на измерительной линейке или термометре, либо вид полосы линий, расположенных по окружности, как на часах. Обычно цифры, указывающие значения измеряемых величин, наносятся на шкале не против каждой линии шкалы. Если показания прибора приходятся на одну из линий шкалы, против которой нет цифры, то для нахождения значения измеряемой величины нужно знать цену деления шкалы. **Ценой деления шкалы** называется разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Чтобы определить цену деления шкалы, нужно найти разность между соседними числами на шкале и разделить её на число делений шкалы между линиями, соответствующими выбранным числам на шкале.

Например, если на шкале измерительной линейки между линиями, соответствующими цифрам 27 и 28, имеется десять делений (см. рис. 1.5), то для нахождения цены деления шкалы находим разность между соседними значениями измеряемой величины, указанными числами, и делим её на число делений:

$$\frac{28 \text{ см} - 27 \text{ см}}{10} = 0,1 \text{ см} = 1 \text{ мм.}$$

Определите цену деления шкалы измерительной линейки, термометра и измерительного цилиндра.



Вопросы

- Почему размеры Земли в настоящее время перестали принимать за основу при выборе единицы длины?
- Что служит природной основой единицы длины в настоящее время?
- Какую практическую ценность имеет новый способ определения метра?

§ 3. Измерение времени



Рис. 3.1. Солнечные часы

! Запомните

Обозначения единиц времени

- 1 секунда — 1 с
1 минута = 60 с = 1 мин
1 час = 60 мин = 3600 с = 1 ч
1 сутки = 24 ч = 1440 мин =
= 86 400 с = 1 сут.

Время. Физическая величина **время** известна каждому человеку, следящему за тем, как идёт время. Но где это время, которое измеряют? Можно подумать, что понятие «время» существенно отличается от понятия «длина», так как длину тела как будто бы видно, а время никто не видел. Но длину, как и время, нельзя ни увидеть, ни пощупать. Увидеть можно только предмет — эталон метра, линейку. Но какой предмет можно выбрать в качестве эталона для измерения времени и как измерить время с помощью этого эталона? Тела, пригодного для использования в качестве эталона времени, в природе не существует, так как время является характеристикой физических процессов, а не тел. Ход времени мы замечаем по изменениям в окружающем мире.

Измерение времени. Любые измерения времени основаны на физических явлениях, периодически сменяющих друг друга. Наиболее важный для жизни человека периодический процесс — смена дня и ночи. Интервал времени от одного восхода солнца до следующего люди называли сутками.

В древности для измерения времени использовали солнечные часы, в которых время определялось по положению тени от какого-то предмета (рис. 3.1). В XVII в. появились часы с маятником. Сегодня маятниковые часы почти полностью вытеснены более точными, надёжными и удобными электронными часами.

Секунда. За основную единицу времени сегодня принята **секунда**. **Основной** называется единица физической величины, через которую выражаются остальные единицы этой величины. Более крупными единицами времени являются **минута**, равная 60 с, **час**, равный 60 мин, и **сутки**, равные 24 ч. Длительность эталонной секунды определяется с помощью электронного прибора, называемого атомными часами.

Погрешности измерений. При каждом измерении любой физической величины возможны небольшие ошибки. Они могут быть обусловлены несовершенством измерительного прибора (абсолютно точных приборов не бывает!), ошибкой экспериментатора или влиянием внешних причин.

Ошибки, не изменяющиеся при выполнении повторных измерений, называются **систематическими погрешностями** измерений. Ошибки, изменяющиеся от одного измерения к другому, называются **случайными погрешностями** измерений.

Среднее арифметическое значение. Для уменьшения случайных погрешностей измерений в физике обычно повторяют измерения несколько раз в одинаковых условиях и находят среднее арифметическое значение. Средним арифметическим значением из n чисел a_1, a_2, \dots, a_n называется число $a_{\text{ср}}$, равное

$$a_{\text{ср}} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}.$$

? Вопросы

- Чем отличается физическая величина «время» от физической величины «длина»?
- Как измеряют время?
- Что принято сегодня за основную единицу времени?
- С каким природным периодическим процессом связана единица времени секунда?

Случайные ошибки при измерениях бывают и в сторону увеличения, и в сторону уменьшения истинного значения. При сложении нескольких повторных результатов измерений погрешности с положительным знаком складываются с погрешностями с отрицательным знаком и их общая сумма уменьшается. Поэтому среднее арифметическое значение результатов нескольких измерений имеет меньшую случайную погрешность измерений, чем большинство одиночных измерений.



Вопросы

1. Какие погрешности называются систематическими погрешностями измерений?
2. Какие погрешности называются случайными погрешностями измерений?
3. Почему при измерениях физических величин бывают случайные погрешности?
4. Как можно уменьшить случайные погрешности измерений?

Экспериментальное задание 3.1

Работаем самостоятельно

Измерение времени между двумя ударами пульса

Оборудование: секундомер или часы с отсчётом секунд.

Измерьте время между двумя ударами вашего пульса.

Порядок выполнения задания

1. Для измерения времени между двумя ударами пульса приготовьте часы с секундной стрелкой или цифровые часы с отсчётом секунд. Нашупайте кончиками пальцев правой руки пульс на запястье левой руки (рис. 3.2). Когда секундная стрелка совпадёт с цифрой 12 на часах или с показаниями 00 с на цифровых часах, сосчитайте число ударов своего пульса за 1 мин. Разделите время измерения t на полученное в эксперименте число ударов N пульса и получите значение времени T между двумя ударами вашего пульса. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.



Рис. 3.2. Измерение пульса

Таблица 3.1

Время t , с	Число ударов N	Время T , с	Среднее арифметическое $T_{ср}$, с

2. Повторите измерения ещё два раза и запишите результаты измерений и вычислений в таблицу. Найдите среднее арифметическое значение времени $T_{ср}$ между ударами пульса. Для этого сложите три значения времени T , полученные при измерениях, и разделите сумму на 3. Результаты вычислений запишите в таблицу.



Вопрос

Почему счёт ударов пульса ведётся 1 мин, а не 5 или 10 с?



Рис. 3.3. Песочные часы



Рис. 3.4. Водяные часы

 **Прочитайте**

Время, его измерение и хранение // Энциклопедия для детей, астрономия. — М.: Аванта+, 2001. — Т. 8. — С. 296–315.

Солнечные часы. Смена дня и ночи из-за видимого движения Солнца происходит вследствие вращения Земли вокруг своей оси. Поэтому для измерения времени в сутках единицей времени является период вращения Земли вокруг своей оси. Измерять время по наблюдениям за Солнцем и звёздами могли немногие. К тому же солнечные часы работали только днём при отсутствии облаков и ими невозможно было измерять короткие интервалы времени. Поэтому уже в древности для измерения небольших промежутков времени были разработаны простые устройства, называемые **песочными** и **водяными часами**.

Песочные и водяные часы. Песочные часы измеряют время по объёму песка, персыпающегося из верхнего воронкообразного сосуда в нижний сосуд. Такие часы применяют и сейчас, например в процедурных кабинетах больниц, на кухне, где большой точности измерения времени не требуется (рис. 3.3). Водяные часы (рис. 3.4) — **клепсидры** (по-гречески — похитители воды) определяли время по объёму воды, вытекающей из сосуда через маленькое отверстие. С тех пор память об использовании клепсидры хранит выражение «С тех пор много воды утекло».

Маятниковые часы. Изобретение более точных часов стало возможным после того, как при наблюдении качаний люстры в соборе Галилей (рис. 3.5) заметил, что продолжительность одного колебания — период колебаний — не изменяется при уменьшении или увеличении размаха качаний. Для измерения периода колебаний люстры он использовал собственный пульс. Независимо от Галилея в 1656 г. часы с маятником (рис. 3.6) создал голландский учёный Христиан Гюйгенс. Точность хода этих часов составляла 5–10 с в сутки. В карманных, наручных и настольных часах качающийся маятник был заменён балансиром — колёсиком, которое периодически вращается вокруг оси под действием спиральной пружины.

Созданными в XX в. особо точными часами было установлено, что Земля вращается вокруг своей оси неравномерно. Её вращение тормозят приливы, вызываемые притяжением Луны и Солнца. В результате продолжительность суток увеличивается примерно на 0,001 с за столетие. На скорость вращения Земли оказывают влияние изменения распределения вещества внутри Земли во время землетрясений. После некоторых крупных землетрясений продолжительность суток скачком менялась на 0,004 с.

Морской хронометр. С развитием мореплавания возникла практическая потребность в определении географических координат корабля в открытом море. Для определения долготы места наблюдения нужно определить по Солнцу момент времени 12 ч и иметь точные часы, которые показывают время на Гринвичском меридиане.

Так как Земля делает полный оборот вокруг оси за сутки (24 ч), то 1 ч соответствует 15° . При измерении времени в часах угол $\Delta\lambda$ поворота Земли за время Δt равен $\Delta\lambda = 15^\circ \cdot \Delta t$.

Если время на часах, идущих по гринвичскому времени, на Δt больше 12 ч, то это значит, что Земля вращается в течение времени Δt после наступления полуночи на Гринвичском меридиане. Место наблюдения находится на долготе $\lambda = 15^\circ \Delta t$ к западу от Гринвичского меридиана. Если время t_p на Гринвичском меридиане на Δt меньше 12 ч, то это значит, что Земля должна ещё вращаться в течение времени Δt до наступления полуночи на Гринвичском меридиане. Место наблюдения находится на долготе $\lambda = 15^\circ \Delta t$ к востоку от Гринвичского меридиана.

Точность определения долготы зависит от точности хода часов. Ошибка в измерении времени на 1 мин в экваториальной зоне приведёт к ошибке в определении местоположения корабля на 28 км!

В 1714 г. Британский парламент из-за больших потерь кораблей в результате неправильного определения их местоположения объявил приз 20 000 фунтов за создание устройства, способного определять долготу судна в любой точке Земли с точностью до полградуса. Для этого требовалось создать часы, идущие с погрешностью не более 2 с в сутки. Такие часы, названные **морским хронометром** (рис. 3.7), первым создал англичанин Джон Харрисон. В 1735 г. он представил Королевскому обществу свой первый морской хронометр массой 35 кг, позволявший определять положение судна с точностью до 150 км. От изобретателя потребовали существенно уменьшить размеры хронометра. Новый хронометр диаметром 12 см был испытан в 1761 г., его погрешность не превышала 1/5 с в день, что было в 10 раз точнее требуемого для конкурса. Однако свой приз Харрисон получил только в 1773 г. после подачи петиции королю Георгу III.

Атомный этalon времени. Неравномерность вращения Земли заставила учёных отказаться от использования периода вращения Земли вокруг своей оси в качестве природной единицы времени. С 1972 г. в ряде стран система измерения времени основана на применении атомного стандарта времени. В этом стандарте в качестве природного эталона использован период излучения атома цезия, наблюдаемого при определённых условиях. При переходе к атомному стандарту времени с большой степенью точности определили, сколько колебаний совершаются в атоме цезия за одну астрономическую секунду. С точностью до одного периода это число оказалось равным 9 192 631 770. Отсюда и было принято новое определение секунды. **Секунда — время, равное 9 192 631 770 периодам излучения атома цезия.** Таким образом, при переходе к новому способу определения секунды её размер не изменился.

Использование атомного эталона времени привело к большому повышению точности измерений времени. Первые маятниковые часы могли отставать или уходить вперед за сутки примерно на 10 с, в XVII в. ошибка хронометров составляла примерно 1 с за 3 дня. В XX в. кварцевые часы имели ошибку хода не более 1 с за 30 лет, а цезиевый атомный стандарт времени хранит время с погрешностью не более 1 с за 15 млн лет.



Рис. 3.5. Галилей наблюдает колебания люстры в соборе

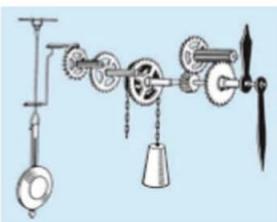


Рис. 3.6. Маятниковые часы



Рис. 3.7. Хронометр

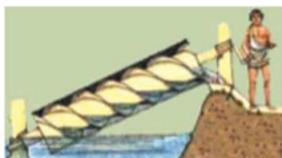


Рис. 3.8. Винт Архимеда



Рис. 3.9. Рычаги Архимеда

Физика и техника. Значение физики для человеческой цивилизации не ограничивается познанием мира неживой природы. Изучение физических явлений открыло перед человеком возможности создания устройств, машин и приборов, ранее не существовавших в природе. Возник мир техники.

Одним из первых достижений физики для развития техники использовал древнегреческий учёный и изобретатель Архимед (ок. 287–212 гг. до н. э.). Он изобрёл винт для подъёма воды на поля (рис. 3.8), машины и устройства для перемещения тяжёлых грузов, военные машины для метания стрел и камней. С помощью изготовленной им машины Архимед один переместил по суше трёхмачтовое судно с грузом, после чего сказал: «Дайте мне точку опоры, и я сдвину Землю!» Так он хотел показать неограниченные возможности получения выигрыша в силе с помощью простых механизмов.

Когда римляне взяли Сиракузы в осаду, Архимед изготовил громадные рычаги, с помощью которых с крепостных стен на корабли неприятеля опускались крючья, подхватывавшие нос корабля и поднимавшие его вверх. Затем крюк отпускался, корабль переворачивался и тонул (рис. 3.9).

Итальянец Леонардо да Винчи, живший на рубеже XV–XVI вв., был одним из первых учёных, постоянно использовавших опыты по изучению природных явлений для изобретения разнообразных устройств — от военных орудий до проектов парашюта и вертолёта.

Изучение электрических и магнитных явлений привело к изобретению электрических генераторов и моторов, электрического освещения, радио, телевидения, мобильной связи, без которых трудно представить себе жизнь современного человека. Сегодня мир техники не только изменил условия жизни людей на Земле, но и дал человеку возможность исследовать космическое пространство (рис. 3.10) и другие планеты Солнечной системы.

Индивидуальное задание 3.2

Работаем самостоятельно

Рассмотрите схему устройства маятниковых часов на рисунке 3.6.

Объясните назначение маятника и гири в таких часах.

Почему маятник в часах не останавливается?



Рис. 3.10. Космическая станция

02

Механические явления

4	Механическое движение	20	14	Равновесие тел	64
5	Скорость	24	15	Центр тяжести тела	68
6	Методы исследования механического движения	28	16	Давление	72
7	Таблицы и графики	32	17	Закон Архимеда	76
8	Явление инерции. Масса	38	18	Атмосферное давление	80
9	Плотность вещества	42	19	Сила трения	84
10	Сила	46	20	Энергия	88
11	Сила тяжести. Вес	50	21	Работа и мощность	92
12	Сила упругости	54	22	Простые механизмы	96
13	Сложение сил	58	23	Механические колебания	100
			24	Механические волны	104

§ 4. Механическое движение



Рис. 4.1. Чайка в полёте



Рис. 4.2. Сёрфингист на волне



Рис. 4.3. Бог Солнца Ра посыпает частицы света (Египет, ок. 2500 г. до н. э.)

Механическое движение.

Изменение положения одного тела относительно других тел называется механическим движением.

Движение автомобиля, полёт птицы (рис. 4.1), движение морской волны и скольжение сёрфингиста по волне (рис. 4.2) являются примерами механического движения.

Траектория движения.

Непрерывная линия, которую описывает тело при своём движении, называется траекторией.

Если размеры движущегося тела пренебрежимо малы по сравнению с пройденным расстоянием, то движение тела можно рассматривать как движение точки. Двигущееся тело в таких случаях называют **материальной точкой**. Например, движение Земли вокруг Солнца можно рассматривать как движение материальной точки, так как длина земной орбиты около 1 миллиарда километров, а диаметр Земли «всего лишь» около 13 тыс. километров, т. е. почти в 100 тыс. раз меньше.

Траектории могут быть различными. Например, траектории частиц света — прямые линии (рис. 4.3), траектория движения Луны вокруг Земли — окружность (рис. 4.4). Движение, при котором траектории движения всех точек тела одинаковы, называется **поступательным движением**.



Рис. 4.4. Траектория движения Луны

Путь.

Длина траектории движения тела называется **путём**.

Путь обозначается буквой s . Если известен только пройденный телом путь s , то неизвестно, в каком направлении двигалось тело по этой траектории. Физические величины, определяемые только числом без указания направления в пространстве, называются **скалярными величинами**. Путь — скалярная величина.

Относительность движения. Траектория движения и путь зависят от места наблюдения. Когда автобус проходит путь 50 км относительно земной поверхности, путь сидящего в нём пассажира относительно земли равен 50 км, а относительно автобуса путь пассажира равен нулю.

Физические величины, зависящие от выбора места наблюдения, называются **относительными величинами**.

Траектория движения любого тела и пройденный телом путь — относительные величины. Вид траектории и значение пути движения тела зависят от выбора тела, относительно которого наблюдатель неподвижен. Тело, которое считается неподвижным и относительно которого рассматриваются движения других тел, называется **телом отсчёта**.

Зависимость траектории движения от выбора тела отсчёта. Для обнаружения зависимости траектории движения от выбора тела отсчёта можно выполнить следующие опыты. Подвесим пластиковую бутылку с водой на двух длинных нитях и используем её в качестве маятника. К маятнику резиновыми колышками прикрепим кисть, на столе под маятником поместим лист белой бумаги. Наберём на кисть акварельную краску. Отклоним маятник на 5–10 см от положения равновесия и отпустим. Кисть за одно колебание нарисует на бумаге отрезок прямой (рис. 4.5).

Наберём новую порцию краски на кисть, отклоним маятник, отпустим его и одновременно начнём равномерно перемещать лист бумаги в направлении, перпендикулярном плоскости качаний маятника. Кисть за одно колебание нарисует на бумаге кривую, называемую синусоидой (рис. 4.6).

Вопросы

- Что называется траекторией движения?
- Что такое путь?
- Какие физические величины называются скалярными величинами? Приведите примеры скалярных величин.
- Приведите примеры относительности траектории движения тела.



Рис. 4.5

Экспериментальное задание 4.1

Работаем самостоятельно

Оборудование: нить, линейка.

На рисунке 4.7 представлена траектория движения жука от точки А до точки Б. Измерьте путь, пройденный жуком.



Рис. 4.7. Траектория движения жука

Индивидуальное задание 4.2

Работаем самостоятельно

Велосипедист движется по горизонтальной прямой дороге. Нарисуйте траекторию движения точки А, отмеченной на колесе велосипеда во время движения велосипеда, относительно:

- жука, сидящего на оси колеса;
- муравья, сидящего в точке В на колесе;
- человека, стоящего на обочине дороги.

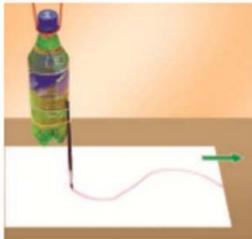


Рис. 4.6

Относительность движения. Как ни странно, понятие о движении тел непростое. Некоторые мудрецы древности считали, что движения тел в пустоте не может быть (рис. 4.8). Один из них, Зенон, так доказывал невозможность движения тел: «Если пустое пространство существует и в нём летит стрела, то в любой момент времени она находится в определённом месте пространства. Если стрела находится в определённом месте пространства, то она неподвижна в нём. Следовательно, в любой момент времени стрела неподвижна».



Рис. 4.8. Летящая стрела неподвижна

Прочтите

Кикоин А. К. Об одном стихотворении А. С. Пушкина // Квант. — 1984. — № 10. — С. 25—26.

Найдите

<http://www.physbook.ru/index.php/Kvant>

Рассказывают, что для опровержения утверждения Зенона о невозможности движения философ Диоген стал молча ходить, таким образом доказывая возможность движения. Однако по поводу такого способа опровержения логических доводов интересно высказался А. С. Пушкин в стихотворении «Движение».

Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить.
Сильнее бы не мог он возразить;
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводят:
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей.

В этом стихотворении показано, что кажущаяся очевидность объяснений некоторых наблюдаемых явлений не всегда может быть признана доказательством истинности этих объяснений. На протяжении тысячелетий люди не сомневались в том, что Солнце движется по небосводу (рис. 4.9), а Земля неподвижна. Только с XVI в. после убедительных доводов Коперника, Галилея и других учёных люди стали постепенно привыкать к мысли о неподвижности Солнца и вращении Земли (рис. 4.10).

Но действительно ли Солнце неподвижно? Наблюдения астрономов показали, что Солнце приближается к одним звёздам и удаляется от других.

А если уедет подальше и посмотреть оттуда, как движутся все звёзды, которые мы видим на небе? Такой опыт можно выполнить мысленно. В созвездии Андромеды среди звёзд есть маленькое светящееся пятно, не похожее на звезду. Это пятно назвали туманностью Андромеды. На фотографии туманности Андромеды, сделанной с помощью большого телескопа, видно, что это не облако газа, а скопление миллиардов звёзд. Такие скопления звёзд называют **галактиками**. Галактика в Андромеде так далека, что свет от неё до Земли идёт 2 млн лет.

Для измерений больших расстояний в астрономии используется единица, называемая **световым годом**. Световым годом называется расстояние, которое проходит свет в вакууме за один год. Так как свет за 1 с проходит расстояние около 300 000 км, то световой год равен примерно:

$$\begin{aligned} 1 \text{ св. год} &\approx 300\,000 \text{ км} \cdot 365 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 \approx \\ &\approx 9\,500\,000\,000\,000 \text{ км}, \end{aligned}$$

т. е. 9,5 миллионов миллионов километров.

Если с одной из планет у звёзды в туманности Андромеды кто-то смотрит на наш «космический дом», то видит Солнце как одну примерно из 200 млрд звёзд системы, похожей на галактику в Андромеде. Диаметр диска нашей Галактики примерно 100 000 св. лет, т. е. свет от одного края галактики до другого доходит за 100 000 лет. Все звёзды нашей Галактики движутся вокруг её центра. Солнце движется вокруг центра Галактики по окружности радиусом около 25 тыс. св. лет со скоростью 220 км/с и совершает один оборот примерно за 200 млн лет. Вот вам и ответ, действительно ли Солнце неподвижно. На рисунке 4.11 представлено, как примерно выглядит наша Галактика (справа внизу) при наблюдении из галактики туманности Андромеды (слева вверху).



Рис. 4.9. Видимое движение Солнца



Рис. 4.10. Суточное вращение Земли

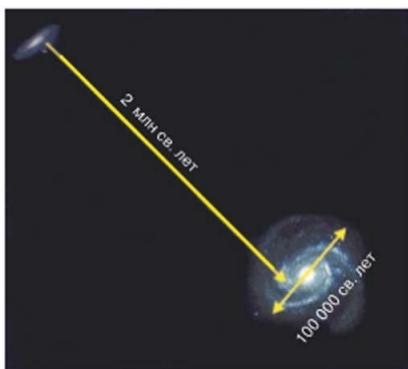


Рис. 4.11. Расстояния в мире галактик

Вопрос

Как вы думаете, а не движется ли и наша Галактика?

§ 5. Скорость

Равномерное движение.

Механическое движение, при котором за любые равные промежутки времени тело проходит одинаковые пути, называется равномерным движением.

Равномерное движение по прямой называется равномерным прямолинейным движением.

Скорость. При равномерном движении отношение пройденного пути s к времени движения t называется **скоростью** равномерного движения. Скорость обозначается буквой v («вз»). Скорость v равномерного движения вычисляется делением пройденного пути s на время движения t :

$$\text{скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}, \quad v = \frac{s}{t}.$$

Пройденный путь при равномерном движении равен произведению скорости на время движения: $s = vt$. Время равномерного движения вычисляется делением пути на скорость: $t = \frac{s}{v}$.

При измерении пути в метрах, а времени в секундах скорость выражается *в метрах в секунду*. Значение скорости записывается числом с сокращенным обозначением единицы скорости, например 1 м/с. При измерении пути в километрах и времени в часах скорость выражается *в километрах в час*, например 10 км/ч.

Скорость — векторная величина. Для определения положения тела в пространстве в любой момент времени, кроме значения скорости движения и начального положения тела, необходимо знать направление движения. Поэтому скорость движения тела задаётся не только числовым значением, но и указанием направления движения. Физические величины, которые задаются числовым значением и направлением в пространстве, называются **векторными величинами**. Скорость — векторная величина.

Стрелку, указывающую направление движения тела, называют **вектором скорости**. Длину вектора скорости принимают пропорциональной значению скорости. Вектор скорости обозначают жирной буквой v или буквой v со стрелкой сверху: \vec{v} . Числовое значение скорости называют **модулем вектора скорости**.

Скорость — относительная величина. Пройденный путь является относительной величиной, зависящей от выбора тела отсчёта, поэтому скорость равномерного движения тела — относительная величина. Если авианосец движется со скоростью \vec{v}_1 относительно земли, а самолёт движется со скоростью \vec{v}_2 относительно палубы авианосца в направлении его движения, то за время t путь s самолёта относительно земли равен сумме пути s_1 авианосца относительно земли и пути s_2 самолёта относительно авианосца (рис. 5.1):

$$s = s_1 + s_2.$$

Разделив пройденные пути на время t движения, получим

$$\frac{s}{t} = \frac{s_1}{t} + \frac{s_2}{t}, \quad v = v_1 + v_2.$$



Рис. 5.1

Мы получили, что при одинаковом направлении векторов скоростей \vec{v}_1 и \vec{v}_2 модуль v скорости движения самолёта относительно земли равен сумме модулей скоростей авианосца относительно земли и самолёта относительно авианосца: $v = v_1 + v_2$.

Этот результат можно получить, используя правило сложения векторов. Для нахождения суммы векторов начало второго вектора соединяют с концом первого вектора (рис. 5.2, а). Вектор, соединяющий начало первого вектора с концом второго вектора, является суммой векторов: $\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

При движении самолёта относительно авианосца в противоположном направлении выполняется то же самое правило сложения векторов скоростей (рис. 5.2, б), но для модуля скорости v это правило даёт новый результат: $v = v_2 - v_1$.

Пример решения задачи

Задача. Пешеход при равномерном движении за время 20 мин прошёл путь 1200 м. Найдите значение скорости пешехода в метрах в секунду и в километрах в час.

Решение:

Для нахождения скорости пешехода в метрах в секунду выразим время его движения в секундах: $t = 20 \text{ мин} = 1200 \text{ с}$.

$$\text{Найдём скорость: } v = \frac{s}{t}, s = 1200 \text{ м}, v = \frac{1200 \text{ м}}{1200 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для нахождения скорости в километрах в час выразим путь в километрах, время в часах: $s = 1200 \text{ м} = 1,2 \text{ км}$, $t = 20 \text{ мин} = 1/3 \text{ ч}$.

$$\text{Найдём скорость: } v = \frac{s}{t}, v = \frac{1,2 \text{ км}}{1/3 \text{ ч}} = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Таким образом, перевести значение скорости в метрах в секунду в значение в километрах в час можно умножением на коэффициент 3,6. Например: $v = 10 \text{ м/с} = 3,6 \times 10 \text{ км/ч} = 36 \text{ км/ч}$.

Перевести значение скорости в километрах в час в значение в метрах в секунду можно делением на коэффициент 3,6. Например: $v = 108 \text{ км/ч} = \frac{108}{3,6} \text{ м/с} = 30 \text{ м/с}$.

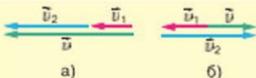


Рис. 5.2

Экспериментальное задание 5.1

Работаем в группе

Измерение скорости модели автомобиля

Оборудование: модель автомобиля с электрическим двигателем, секундомер, измерительная лента.

Измерьте скорость равномерного движения модели автомобиля. Выразите результат в метрах в секунду и в километрах в час.

Подсказка. Для изготовления модели автомобиля можно использовать один из вариантов конструктора Lego с применением электродвигателя и электрической батарейки.

Домашнее экспериментальное задание 5.2

Работаем самостоятельно

Используя измерительную ленту и часы с секундомером, определите скорость своего движения при ходьбе и беге.

Задача 5.1. Спортсмен бежит со скоростью 10 м/с. Выразите эту скорость в километрах в час.

Задача 5.2. Автомобиль движется со скоростью 72 км/ч. Выразите эту скорость в метрах в секунду.

Задача 5.3. Автомобили *A* и *B* движутся навстречу друг другу. Скорость автомобиля *A* относительно земли 60 км/ч, скорость автомобиля *B* относительно земли 90 км/ч. Чему равна скорость автомобиля *A* относительно автомобиля *B*?

Задача 5.4. Автомобили *A* и *B* движутся по прямой дороге в противоположных направлениях. Скорость автомобиля *A* относительно земли 40 км/ч, скорость автомобиля *B* относительно земли 50 км/ч. Чему равна скорость автомобиля *A* относительно автомобиля *B*?

Правило сложения векторов. Мы нашли правила сложения параллельно направленных и противоположно направленных векторов скоростей. Теперь найдём общее правило сложения любых векторных величин. Рассмотрим такой пример.

Корабль движется со скоростью \vec{v}_1 относительно земли, по палубе корабля со скоростью \vec{v}_2 относительно корабля идёт человек, направление вектора \vec{v}_2 перпендикулярно направлению вектора \vec{v}_1 . С какой скоростью \vec{v} движется при этом человек относительно земли?

Для нахождения ответа на этот вопрос представим на рисунке два положения корабля — в момент начала движения человека по палубе и в момент окончания его движения (рис. 5.3).

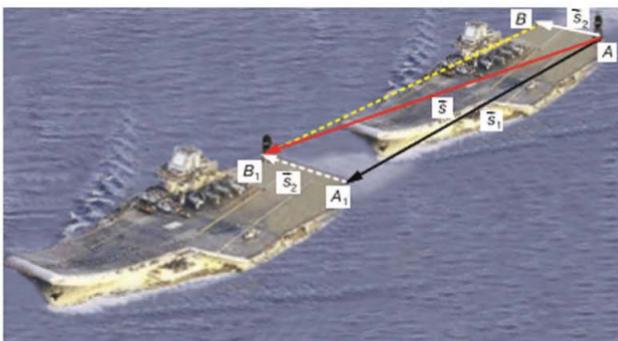


Рис. 5.3

Соединим стрелкой \vec{s}_1 точки A и A_1 , которыми отмечено начальное положение человека на палубе, стрелкой \vec{s}_2 точки начального и конечного положений человека на палубе, стрелкой \vec{s} точки A и B_1 начального и конечного положений человека относительно земли. Стрелка \vec{s}_1 — вектор перемещения корабля относительно земли, стрелка \vec{s}_2 — вектор перемещения человека относительно корабля, стрелка \vec{s} — вектор перемещения человека относительно земли.

Рисунок показывает, что начала векторов \vec{s}_1 и \vec{s}_2 находятся в одной точке. Для нахождения вектора \vec{s} нужно провести через конец вектора \vec{s}_1 прямую, параллельную вектору \vec{s}_2 , через конец вектора \vec{s}_2 прямую, параллельную вектору \vec{s}_1 , и затем соединить начальную точку A вектором \vec{s}_1 и \vec{s}_2 с точкой B_1 пересечения этих прямых. Найденный по такому правилу (правилу параллелограмма) вектор \vec{s} является суммой векторов \vec{s}_1 и \vec{s}_2 : $\vec{s} = \vec{s}_1 + \vec{s}_2$.

При прямолинейном движении модуль вектора перемещения \vec{s} равен пройденному пути s . Отсюда следует, что вектор \vec{v} скорости человека относительно земли можно найти по правилу параллелограмма по известным векторам \vec{v}_1 скорости корабля относительно земли и \vec{v}_2 скорости человека относительно корабля (рис. 5.4).

Сложение скоростей по правилу параллелограмма — пример общего правила сложения любых векторных величин.

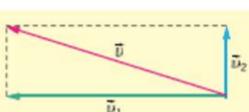


Рис. 5.4

Задача 5.5. Древнегреческий философ Зенон высказал странное утверждение: «Ахиллес быстроногий никогда не догонит черепаху». (Ахиллес — самый быстроногий бегун из древнегреческих мифов.)

Своё утверждение он доказывал следующим рассуждением: «За то время, пока Ахиллес пробежит расстояние a , отделявшее его от черепахи, черепаха отползёт на расстояние b , пока Ахиллес быстро пробежит расстояние b , черепаха медленно отползёт на расстояние c , и так процесс будет продолжаться бесконечно» (рис. 5.5).

Попробуйте опровергнуть утверждение Зенона. Через какое время Ахиллес догонит черепаху, если он побежит в том же направлении и если черепаха в момент начала их соревнования была впереди Ахиллеса на 99 м? Скорость движения черепахи 0,1 м/с, скорость Ахиллеса 10 м/с.



Рис. 5.5. Ахиллес и черепаха

Пример решения задачи

Задача. Автомобили A и B движутся к одному перекрёстку по взаимно перпендикулярным дорогам. Скорость \vec{v}_A автомобиля A относительно земли 30 км/ч, скорость \vec{v}_B автомобиля B относительно земли 40 км/ч (рис. 5.6). Чему равна скорость \vec{v}_{AB} движения автомобиля A относительно автомобиля B ?

Решение:

Относительно автомобиля B автомобиль A вместе с землёй движется со скоростью $-\vec{v}_B$ и со скоростью \vec{v}_A относительно земли. Найдём сумму этих двух векторов \vec{v}_{AB} по правилу сложения векторов (рис. 5.7). Для этого построим вектор скорости \vec{v}_A автомобиля A относительно земли в масштабе $k = \frac{v}{l} = \frac{10 \text{ км/ч}}{1 \text{ см}}$, потом в таком же масштабе построим вектор $-\vec{v}_B$ с началом в той же точке O , в которой находится начало вектора \vec{v}_A . Затем через конец вектора \vec{v}_B проведём прямую, параллельную вектору \vec{v}_A , а через конец вектора \vec{v}_A проведём прямую, параллельную вектору \vec{v}_B . Точка C пересечения этих прямых определяет положение конца вектора \vec{v}_{AB} движения автомобиля A относительно автомобиля B . Соединив точки O и C отрезком, построим вектор скорости движения автомобиля A относительно автомобиля B . Измерив длину l вектора \vec{v}_{AB} на схеме, вычислим модуль скорости v_{AB} движения автомобиля A относительно автомобиля B : $v_{AB} = kl$.

При измерении длины вектора \vec{v}_{AB} получено значение $l = 5 \text{ см}$, скорость v_{AB} равна 50 км/ч.

Ответ: $v_{AB} = 50 \text{ км/ч}$.



Рис. 5.6



Рис. 5.7

Задача 5.6. Автомобили A и B удаляются от одного перекрёстка по взаимно перпендикулярным дорогам. Скорость автомобиля A относительно земли 80 км/ч, скорость автомобиля B относительно земли 60 км/ч. Чему равна скорость движения автомобиля B относительно автомобиля A ?

§ 6. Методы исследования механического движения

При изучении § 5 мы записали формулы для вычисления пути, скорости и времени при равномерном движении и решали задачи с их использованием. Но применять эти формулы для выполнения расчётов можно только в том случае, если точно известно, что исследуемое движение равномерное. А как узнать, является ли наблюданное движение тела равномерным?

Стробоскопический метод. Обязательным признаком равномерного движения является одинаковость путей, пройденных телом за любые одинаковые промежутки времени. Один из возможных методов регистрации пройденных путей за одинаковые промежутки времени — фотографирование движущегося тела при освещении, включаемом на короткие интервалы времени через одинаковые промежутки времени. Короткие световые вспышки даёт прибор с газоразрядной лампой, подобной лампе-вспышке фотоаппарата. Периодичность повторения вспышек такого прибора, называемого **стробоскопом**, задаётся электрическим генератором и легко регулируется. При открытом затворе фотоаппарата на снимке получается ряд изображений тела в моменты вспышек лампы. Если расстояния между всеми соседними изображениями тела одинаковы, то движение тела было равномерным. Если же расстояния между соседними изображениями тела не везде одинаковы, то движение тела было неравномерным.

Можно обойтись и без стробоскопического освещения, используя цифровой фотоаппарат в режиме непрерывной съёмки. В таком режиме аппарат производит съёмку ряда последовательных кадров через одинаковые промежутки времени. Совместив эти кадры с помощью компьютера, можно получить на одной фотографии ряд изображений движущегося предмета. По расстояниям между этими изображениями можно определить, равномерно ли движется тело и с какой скоростью. Примеры фотографий двух движущихся автомобилей, полученных таким способом, представлены на рисунках 6.1 и 6.2.

- ?
- ### Вопросы
1. Какими методами можно исследовать механическое движение тела?
 2. Какой признак равномерного движения можно использовать для проверки равномерности движения?
 3. Если за два одинаковых промежутка времени автомобиль прошёл одинаковые пути, то можно ли сделать вывод, что автомобиль двигался равномерно?
 4. Как на практике контролируется скорость движения транспортных средств?



Рис. 6.1

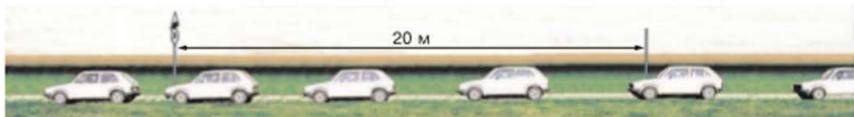


Рис. 6.2

Пример решения задачи

Задача. На рисунке 6.1 представлена фотография автомобиля, полученная при открывании объектива через одинаковые промежутки времени, равные 0,8 с. Определите, было ли движение автомобиля равномерным. Если движение автомобиля было равномерным, определите скорость его движения.

Расстояние между двумя предметами, расположенными на прямолинейной траектории движения автомобиля, указано на рисунке 6.1.

Решение:

Автомобиль двигался равномерно, так как за одинаковые промежутки времени, равные 0,8 с, он проезжал одинаковые расстояния. Чтобы найти скорость равномерно движущегося автомобиля, определим по рисунку 6.1 его путь s за время t , равное трём промежуткам времени по 0,8 с, т. е. за время $t = 3 \cdot 0,8$ с = 2,4 с.

Для этого измерительной линейкой измерим на рисунке 6.1 расстояние от заднего бампера первого слева изображения машины до заднего бампера четвёртого изображения. Оно равно 98 мм.

По рисунку находим, что отрезок AB , которому на земле соответствует расстояние 20 м, равен 105 мм. Значит, 1 мм на рисунке соответствует расстоянию на земле, равному $20/105$ м.

Выразим путь s автомобиля в метрах:

$$s = 98 \cdot 20/105 \text{ м.}$$

Найдём скорость v автомобиля:

$$v = \frac{s}{t}, v = \frac{98 \cdot \frac{20}{105} \text{ м}}{2,4 \text{ с}} \approx 7,8 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 28 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ: движение автомобиля равномерное, $v \approx 28$ км/ч.

Скорости движения в природе и технике (в м/с)

Улитка	0,014
Черепаха	0,05
Муха	5
Человек	10
Голубь	20
Гепард	30
Автомобиль	50
Сокол	100
Самолёт	250
Молекула газа	500
Пуля	700
Луна (по орбите вокруг Земли)	1000
Земля (по орбите вокруг Солнца)	30 000
Электрон в кинескопе телевизора	100 000 000
Свет	300 000 000

Задача 6.1. На рисунке 6.2 представлена фотография движущегося автомобиля, полученная при открывании объектива через одинаковые промежутки времени, равные 0,8 с. Определите, равномерно ли двигался автомобиль.

Если движение автомобиля было неравномерным, то определите, увеличивалась или уменьшалась его скорость.

Вычислите примерные значения скорости движения автомобиля в начале и в конце участка пути, представленного на фотографии.

Расстояние между двумя предметами, расположенными на прямолинейной траектории движения автомобиля, указано на фотографии.



Рис. 6.3. Спидометр

Методы измерения скорости и пройденного пути.

Спидометр. Метод измерения скорости с фотографированием и последующими вычислениями не подходит ни автомобилисту, ни мотоциклиstu, ни машинисту электропоезда. Любому водителю транспортного средства нужно знать свою скорость в каждый момент времени движения для соблюдения мер безопасного движения, для прибытия в назначенное место в нужное время. Эта задача решается с помощью спидометра.

Водитель автомобиля для определения скорости движения смотрит на показания прибора (рис. 6.3), называемого **спидометром** (от англ. speed — скорость, значит, слово «спидометр» можно перевести как скоростемер). Если показания спидометра не изменяются со временем, значит, автомобиль движется равномерно. На приборной доске автомобиля также имеется устройство, показывающее пройденный путь.

Принцип действия спидометра следующий. Карданный вал автомобиля, приводящий в движение колёса машины, заставляет вращаться и длинный гибкий вал, протянутый до приборного щита. На конце гибкого вала прикреплён небольшой постоянный магнит 1 (рис. 6.4). Вращающийся магнит помещён внутри металлического цилиндра 2, соединённого со спиральной пружиной 3 и стрелкой спидометра 4. Вращение магнита в металлическом цилиндре вызывает вращение цилиндра, но этому вращению препятствует спиральная пружина. В результате при постоянной скорости вращения магнита цилиндр и вместе с ним стрелка спидометра поворачиваются на некоторый постоянный угол и далее остаются неподвижными. При увеличении скорости вращения карданного вала и скорости движения автомобиля магнит вращается быстрее и вызывает поворот стрелки спидометра на больший угол. Положение стрелки спидометра позволяет определить по шкале прибора скорость движения автомобиля в километрах в час в данный момент времени.

Тот же гибкий вал, который вращает магнит спидометра, вращает и диски прибора, отсчитывающего пройденный автомобилем путь. Принцип действия его заключается в том, что при одном полном обороте колеса автомобиль проходит расстояние, равное длине окружности на поверхности шины. Для измерения пройденного пути нужно лишь специально подобрать соотношение числа зубцов в шестернях устройства, передающего вращение от карданного вала к дискам прибора. При прохождении пути 100 м первый диск прибора, измеряющего пройденный путь, должен повернуться на 1/10 оборота и вместо цифры 0 должна появиться цифра 1, означающая пройденный путь 0,1 км. После полного оборота первого диска второй диск повернётся на 1/10 оборота и вместо цифры 0 должна появиться цифра 1, означающая пройденный путь 1 км, и т. д.

Средняя скорость. Движение любого автомобиля, поезда, самолёта всегда начинается из состояния покоя с постепенно увеличивающейся скоростью. Затем некоторое

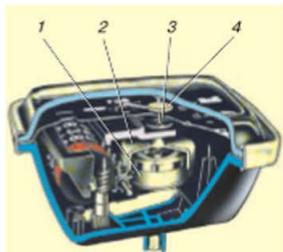


Рис. 6.4. Устройство автомобильного спидометра

● Экспериментальное задание 6.1

Работаем в группе

Измерение средней скорости движения тела

Оборудование: комплект «Лаборатория L-микро» по механике.

Содержание работы

Для проведения опытов используйте направляющую плоскость 1, каретку 2, датчики 3, электронный секундомер 4, пластиковый коврик 5 (рис. 6.5). Среднюю скорость можно определить, измерив пройденный путь и время движения из состояния покоя. Для точного измерения времени падения используется электронный секундомер 4 с магнитными датчиками 3. Запуск и остановка электронного секундометра может осуществляться либо нажатием кнопки «Пуск-стоп», либо с помощью магнитоуправляемых контактов — герконов — в выносных датчиках 3. Геркон (герметический контакт) при приближении магнита намагничивается, притягивает железный контакт и замыкает электрическую цепь электронного секундометра. Происходит запуск секундометра. При замыкании контактов второго геркона секундомер останавливается.

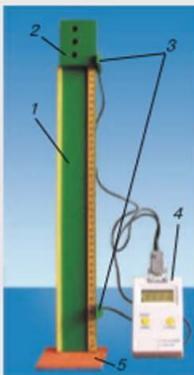


Рис. 6.5

Порядок выполнения задания

1. Установите направляющую плоскость наклонно. С помощью магнитных держателей прикрепите к направляющей плоскости один датчик у верхнего края, другой у нижнего края.

2. Нажатием на кнопку «Сброс» установите нуль на шкале электронного секундометра.

3. Измерьте расстояние s между датчиками. Отпустите каретку и измерьте время t её движения от верхнего датчика до нижнего. Цифры на шкале до точки показывают целые секунды, цифры после точки — десятые и сотые доли секунды. Повторите измерения 5 раз и найдите среднее арифметическое значение времени движения.

4. Вычислите среднюю скорость движения каретки:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$

время происходит движение примерно с постоянной скоростью, а с прибытием в место назначения скорость уменьшается до нуля. Для описания такого неравномерного движения в практической жизни очень часто пользуются понятием **средняя скорость**. Средней скоростью $v_{\text{ср}}$ неравномерного движения называется величина, равная отношению всего пройденного пути s ко всему времени t движения: $v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}$.

Задача 6.2. По фотографии движущегося автомобиля (см. рис. 6.2), полученной при открывании объектива через одинаковые промежутки времени, равные 0,8 с, определите среднюю скорость неравномерного движения автомобиля.

§ 7. Таблицы и графики

Таблицы результатов измерений. При выполнении физического эксперимента результаты измерений обычно записывают в таблицу. Например, по фотографиям автомобиля, сделанным через 0,8 с, требуется найти зависимость пройденного пути s и скорости v от времени t . Чтобы узнать пройденные автомобилем пути s_1 , s_2 , s_3 и s_4 за 0,8; 1,6; 2,4 и 3,2 с, измерим на фотографии отрезки l_1 , l_2 , l_3 , l_4 и AB (рис. 7.1). Расстояние AB на земле равно 20 м, на фотографии — 10 см. Следовательно, 1 см на фотографии соответствует расстоянию 2 м. Пройденные автомобилем пути s_1 , s_2 , s_3 и s_4 в метрах можно вычислить, умножив на 2 измеренные в сантиметрах отрезки l_1 , l_2 , l_3 и l_4 .

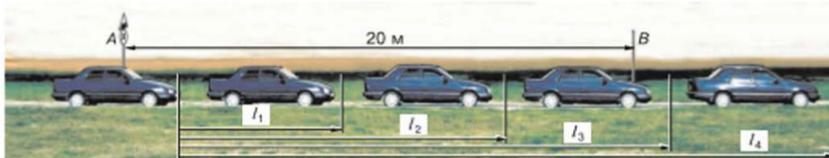


Рис. 7.1. Исследование зависимости пройденного пути от времени движения

Составим таблицу 7.1 из четырёх колонок и шести строк. В первой колонке запишем время t движения автомобиля, во второй — расстояние l на фотографии в сантиметрах, в третьей — путь s автомобиля в метрах, в четвёртой — скорость v в метрах в секунду, найденную делением пути на время движения.

Таблица 7.1

t , с	l , см	s , м	v , м/с
0	0	0	
0,8	3,2	6,4	8
1,6	6,4	12,8	8
2,4	9,6	19,2	8
3,2	12,8	25,6	8

Графики. Таблицы нужны для сохранения первичной информации. Но по ним трудно представить себе характер зависимости между двумя рядами значений физических величин. Наглядное представление о характере зависимости одной физической величины от другой дают графики, которые изображают эту зависимость с помощью точек или линий.

Построим график зависимости пути s от времени t по результатам таблицы 7.1. У левого края листа бумаги внизу поставим точку и отметим её цифрой 0. Для отсчёта физических величин от точки 0 проводим горизонтальную и вертикальную прямые линии, которые называются **координатными осями**. По горизонтальной оси отсчитывается независимо изменяющаяся физическая величина. В нашем примере это время t .

В опыте время изменилось от 0 до 3,2 с, поэтому от нуля до правого края горизонтальной оси должно быть нанесено не менее 32 штрихов на равных расстояниях друг от друга. По вертикальной оси отсчитывается физическая величина, изменяющаяся в зависимости от величины, отсчитываемой по горизонтальной оси. В нашем примере это пройденный путь. В опыте пройденный путь изменился от 0 до 25,6 м, поэтому от нуля до верхнего конца вертикальной оси должно быть нанесено не менее 26 делений на равных расстояниях друг от друга.

Представим результаты измерений графиком в виде точек. Первая точка определяет значение пройденного пути в момент времени $t = 0$ с, когда пройденный путь равен нулю. Эта точка находится на пересечении горизонтальной и вертикальной осей. Вторая точка определяет значение пройденного пути в момент времени $t = 0,8$ с. В этот момент времени пройденный путь равен 6,4 м, поэтому вторая точка находится в точке пересечения вертикальной линии, проходящей через точку 0,8 с на горизонтальной оси, и горизонтальной линии, проходящей через точку 6,4 м на вертикальной оси. Таким же способом определяются положения остальных точек графика (рис. 7.2).

По точкам на рисунке 7.2 можно построить график в виде прямой линии (рис. 7.3). В отличие от графика из точек график в виде непрерывной линии позволяет определить пройденный путь в любой момент времени.

По результатам таблицы 7.1 можно убедиться, что за равные интервалы времени автомобиль проходит одинаковые пути, значит, движение автомобиля равномерное.

Рисунок 7.3 показывает, что **графиком зависимости пути от времени при равномерном движении является прямая линия, наклонённая к горизонтальной оси под углом, отличным от нуля**.

Для построения графика зависимости скорости автомобиля от времени по горизонтальной оси отсчитывается время, по вертикальной оси — скорость. По данным таблицы 7.1 получаем график скорости (рис. 7.4), который показывает, что **графиком зависимости скорости от времени при равномерном движении является прямая линия, параллельная горизонтальной оси**.

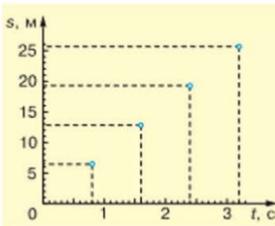


Рис. 7.2. График в виде точек

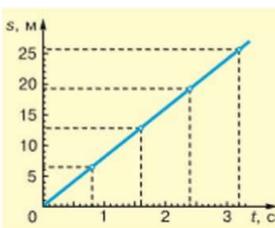


Рис. 7.3. График в виде линии

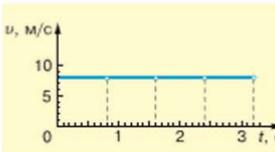


Рис. 7.4. График скорости равномерного движения

Вопросы

1. Для чего записывают результаты измерений в таблицы?
2. Для чего строят графики?
3. Как можно узнать равномерное движение по графику пути? по графику скорости?

Построение графиков по формулам.

Графики могут быть построены не только по результатам измерений физических величин, но и по формулам зависимости одной физической величины от другой. Для построения графика сначала составляют таблицу значений независимо изменяющейся физической величины и вычисляют соответствующие этим значениям значения зависимой физической величины. Например, нужно построить график зависимости пути от времени при равномерном движении со скоростью 5 м/с. Из формулы пути при равномерном движении

$$s = vt$$

по условию задачи получаем для выполнения расчётов формулу

$$s = 5t.$$

Для каждого из выбранных значений времени 0, 1, 2, 3, 4 и 5 с вычислим значение пройденного пути и запишем его в таблицу 7.2.

Таблица 7.2

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5
$s, \text{ м}$	0	5	10	15	20	25

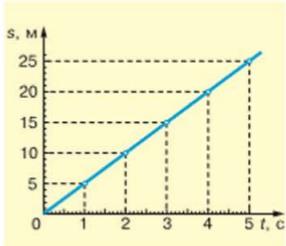


Рис. 7.5. График зависимости пути от времени

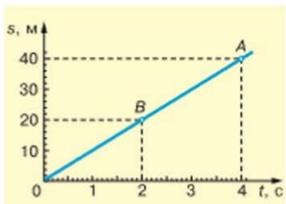


Рис. 7.6. Определение пути по графику

Построим график зависимости пути s от времени t по результатам, представленным в таблице 7.2. От точки 0 проводим координатные оси. По горизонтальной оси отсчитываем время t . В таблице значения времени изменяются от 0 до 5 с, поэтому от нуля до правого края горизонтальной оси должно быть нанесено 5 штрихов на равных расстояниях друг от друга.

По вертикальной оси отсчитываем пройденный путь. Строим точки графика таким же способом, как точки графика на рисунке 7.2, и проводим через эти точки прямую (рис. 7.5).

Определение значений физических величин по графикам. По графику зависимости пути от времени (рис. 7.6) для нахождения значения пути, пройденного за 4 с, проведём вертикальную прямую от точки, соответствующей моменту времени 4 с на горизонтальной оси, до точки A пересечения с линией графика. От точки A проведём горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной осью и найдём, что значение пройденного пути равно 40 м.

Для времени движения 2 с находим на графике точку B и от неё проводим горизонтальную прямую до пересечения с вертикальной осью. Значение пройденного пути в этом случае равно 20 м.

Определение вида движения по графикам зависимости пути и скорости от времени. Рассмотрим на конкретных примерах, как по графику зависимости пути от времени можно определить вид движения тела.

Мы выяснили, что в случае отсчёта пройденного пути с момента начала равномерного движения график зависимости пути от времени имеет вид, представленный на рисунке 7.6. Наклонная прямая графика проходит через точку пересечения коорди-

натных осей. Чтобы определить скорость равномерного движения по такому графику, можно выбрать любой момент времени на горизонтальной оси, найти пройденный к этому моменту времени путь и разделить его на время. Если для графика (см. рис. 7.6) выбран момент времени $t = 4$ с и найдено значение пройденного пути $s = 40$ м, то получаем значение скорости равномерного движения:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{40 \text{ м}}{4 \text{ с}} = 10 \text{ м/с.}$$

Пример решения задачи

Задача. На рисунке 7.7 представлен график зависимости пути пешехода от времени. Как двигался пешеход в интервалах времени от 0 до конца 20-й секунды; от конца 20-й секунды до конца 40-й; от конца 40-й секунды до конца 50-й и от конца 50-й секунды до конца 70-й?

Решение:

В интервале времени от 0 до 20 с путь не изменился со временем, оставаясь равным нулю, следовательно, пешеход не двигался. В интервале времени от 20 до 40 с за время $t_1 = 20$ с пройденный путь увеличился от 0 до 20 м, значит, пешеход прошёл путь $s_1 = 20$ м. График зависимости пути от времени в этом интервале времени — наклонная прямая. Следовательно, движение было равномерным. Скорость равномерного движения равна:

$$v_1 = \frac{s_1}{t_1} = \frac{20 \text{ м}}{20 \text{ с}} = 1 \text{ м/с.}$$

В интервале времени от 40 до 50 с пешеход опять не двигался. В интервале времени от 50 до 70 с за время $t_2 = 20$ с пройденный путь увеличился от 20 до 30 м, значит, пешеход прошёл путь $s_2 = 10$ м. График зависимости пути от времени в этом интервале времени — наклонная прямая. Следовательно, движение было равномерным. Скорость равномерного движения равна:

$$v_2 = \frac{s_2}{t_2} = \frac{10 \text{ м}}{20 \text{ с}} = 0,5 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_1 = 1 \text{ м/с}$, $v_2 = 0,5 \text{ м/с}$.

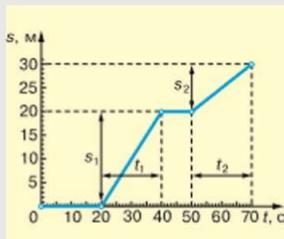


Рис. 7.7

Задача 7.1. В 0 ч 00 мин началась посадка на поезд. В 0 ч 30 мин поезд отправился от станции, и 1 ч 00 мин поезд двигался равномерно со скоростью 60 км/ч. Затем он сделал остановку на 15 мин, а после остановки двигался равномерно со скоростью 120 км/ч в течение 1 ч 15 мин. Постройте график зависимости пути от времени в интервале от 0 ч 00 мин до 3 ч 00 мин.

Задача 7.2. На рисунке 7.8 дан график зависимости пути автомобиля от времени. Определите скорость автомобиля в интервалах времени от 0 до 0,5 ч, от 1 до 1,5 ч и от 3 до 4 ч.

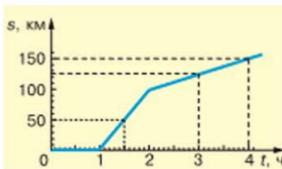


Рис. 7.8

Тест 1

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем «Физические явления. Механическое движение. Скорость. Таблицы и графики».

Тест рассчитан на решение всех заданий и оформление ответов за один урок, т. е. за 45 мин.

- Запишите время начала работы над тестом и закончите решение через 45 мин.
- Откройте таблицу правильных ответов на с. 167 и отметьте все свои ошибочные ответы.
- Попробуйте самостоятельно разобраться, в чём заключается каждая допущенная вами ошибка.
- В тех случаях, когда понять ошибку не удается, откройте соответствующий параграф учебника, внимательно изучите материал, относящийся к данному заданию, и попробуйте ещё раз найти правильное решение.
- Если и теперь не удается получить правильное решение, обратитесь за помощью к одному из своих товарищей или к учителю.
- Таким образом, с помощью теста узнаете, какими знаниями и умениями вы не овладели.

1. Какое из слов обозначает физическое явление?

- 1) путь 3) самолёт
2) метр 4) испарение

2. Какое из слов является названием физического прибора?

- 1) кипение 3) метр
2) скорость 4) весы

3. Скорость — это

- 1) физическая величина
2) опыт
3) наблюдение
4) физическое явление

4. Какое из слов обозначает единицу физической величины?

- 1) длина 3) путь
2) секунда 4) атом

5. Сколько сантиметров в километре?

- 1) 100 3) 10 000
2) 1000 4) 100 000

6. Расстояние между двумя точками измерили 4 раза и получили результаты 74, 74, 75 и 71 см. Среднее арифметическое значение равно

- 1) 73 см 3) 74 см
2) 73,5 см 4) 74,5 см

7. Автомобиль движется по горизонтальной дороге, неподвижный наблюдатель находится на земле. Какой буквой на ри-

сунке Т1.1 обозначена траектория точки, отмеченной на покрышке колеса, для этого наблюдателя за один оборот колеса?

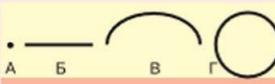


Рис. Т1.1

- 1) А 2) Б 3) В 4) Г

8. На рисунке Т1.2 представлен график зависимости пути s , пройденного телом, от времени t . Какой путь был пройден телом за вторую секунду от момента начала движения?

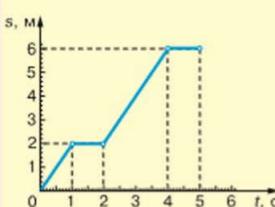


Рис. Т1.2

- 1) 0 2) 1 м 3) 2 м 4) 3 м

9. По графику зависимости пройденного телом пути s от времени t (см. рис. Т1.2) определите, с какой скоростью двигалось тело от конца второй секунды до конца четвёртой секунды.

- 1) 1 м/с 3) 2 м/с
2) 1,5 м/с 4) 4 м/с

10. По графику зависимости модуля скорости тела от времени t (рис. Т1.3) определите путь, пройденный телом от момента времени $t = 4$ с до момента времени $t = 6$ с.

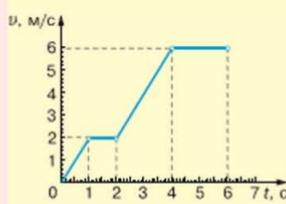


Рис. Т1.3

- 1) 36 м 3) 12 м
2) 24 м 4) 6 м
11. Физическая величина, задаваемая числовым значением и направлением в пространстве, называется

- 1) скалярной величиной
2) векторной величиной
3) алгебраической величиной
4) геометрической величиной

12. Из трёх физических величин — пути, времени и скорости — скалярными величинами являются

- 1) путь и время
2) скорость и время
3) путь и скорость
4) путь, время и скорость

13. Ваня сказал: «Я видел радугу после дождя», Сергей сказал: «А я догадался, что радуга получается при освещении солнцем водяных капель. На даче я пустил струю воды из шланга так, что она распалась на капли. И тогда я увидел радугу». Кто из ребят рассказал о наблюдении природного явления?

- 1) только Ваня
2) только Сергей
3) Ваня и Сергей
4) ни один из них

14. Механическое движение характеризуется траекторией движения, путём и скоростью. Какая из этих величин является относительной величиной?

- 1) только траектория
2) только путь
3) только скорость
4) траектория, путь и скорость

§ 8. Явление инерции. Масса



Рис. 8.1



Рис. 8.2



Рис. 8.3

Явление инерции. Выполним такой опыт. Подвесим на нити гирю, точно такую же нить привяжем к гире снизу (рис. 8.1). Если постепенно натягивать нижнюю нить, то обрывается верхняя нить. Этот результат легко объясним: на верхнюю нить действует не только натяжение нижней нити, но и её тяжесть. А если конец нижней нити очень резко дёрнуть вниз, то оборвётся нижняя нить, и гиря останется висеть на верхней нити (рис. 8.2). Этот опыт знакомит нас с явлением **инерции**.

Явление инерции заключается в том, что при внешнем воздействии тело не может мгновенно перейти из состояния покоя в состояние движения или из состояния движения в состояние покоя.

При резком рывке вниз нижней нити гиря не может мгновенно прийти в движение и начать растягивать верхнюю нить. Поэтому обрывается нижняя нить.

При попытке автомобилиста начать движение с большой скоростью из-за явления инерции колёса прокручиваются, не сдвигая автомобиль с места (рис. 8.3).

Инерция не даёт возможности мгновенно остановить автомобиль. Чем быстрее двигался автомобиль, тем больше его тормозной путь до остановки.

Инертность. Свойство тела сохранять состояние покоя или движение с постоянной скоростью называется **инертностью** тела.

Можно ли сравнивать тела по их свойству инертности, как это делается при сравнении тел по их длине? Чтобы ответить на этот вопрос, выполним опыты с тремя шарами *A*, *B* и *C* одинаковых размеров, привязанными на нитях одинаковой длины. Сначала подвесим шары *A* и *B* так, чтобы они касались друг друга. Отведём шар *A* от положения равновесия в сторону на 10–20 см и отпустим его. Шар *A* движется к шару *B* и ударяет его. От удара

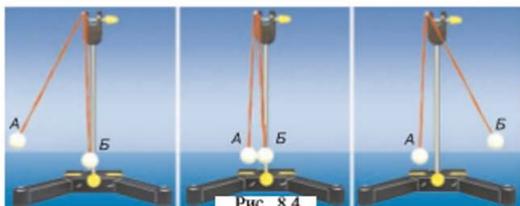


Рис. 8.4

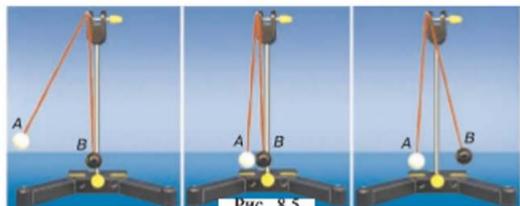


Рис. 8.5

шар *B* отклоняется от начального положения на столько же, на сколько был отклонён шар *A* (рис. 8.4).

Заменим шар *B* шаром *V* и повторим опыт. Результат получается иной: отклонение шара *B* под действием такого же удара шара *A* оказывается значительно меньшим (рис. 8.5).

Можно сделать вывод, что шар *B* значительно инертнее шара *A*. Но как количественно сравнивать тела по их инертности? Как измерить инертность тела?

Положим шары *B* и *V* на две чаши весов. Опыт показывает, что чаша весов с шаром *B* опустилась вниз, а чаша с шаром *V* поднялась вверх (рис. 8.6). Из этого опыта можно сделать вывод, что свойство инертности тела и свойство притяжения тела к Земле взаимосвязаны. **Более инертное тело сильнее притягивается к Земле, оно тяжелее.** Взаимная пропорциональность свойств инертности тел и их способности к взаимному притяжению является фундаментальным свойством природы, установленным экспериментально.

Масса. Взаимная связь свойств инертности тел и их притяжения к Земле даёт возможность использовать для количественного сравнения инертности разных тел их свойство притяжения к Земле.

Физическая величина, являющаяся мерой инертности тел и мерой их притяжения к Земле, называется **массой**.

Масса обозначается буквой *m* («эм»).

Килограмм. Для сравнения масс тел необходимо выбрать тело, масса которого принимается за единицу массы. В настоящее время в большинстве стран мира в качестве основной единицы массы используется **килограмм**. Эталоном массы 1 кг служит масса международного эталона **килограмма**.

Тысячная доля килограмма — **грамм**, тысячная доля грамма — **миллиграмм**, тысяча килограммов — **тона**:

1 кг = 1000 г = 1 000 000 мг, 1 т = 1000 кг.

Весы. Самый простой прибор для измерения масс тел — **весы**. Весы находятся в равновесии, если помещённые на их чаши тела одинаково притягиваются к Земле. Массы таких тел одинаковы. На одну чашу весов кладут тело неизвестной массы, на другую — гири известной массы до уравновешивания весов (рис. 8.7).

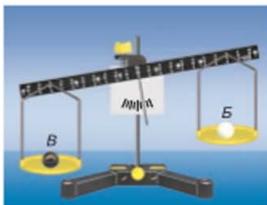


Рис. 8.6

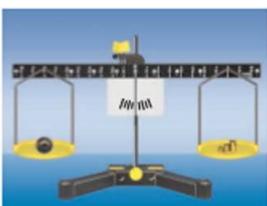


Рис. 8.7



Вопросы

- Что такое инерция?
- Объясните результаты двух опытов с гирей, подвешенной на тонкой нити. Что такое инертность тела?
- Как можно измерить инертность тела? Что такое масса?
- Как определена основная единица массы?

● Экспериментальное задание 8.1

Работаем самостоятельно

Измерение массы

- Измерьте массу монеты и массу карандаша.
- Измерьте массу монеты и массу карандаша вместе. Сравните полученный результат с суммой масс карандаша и монеты.
- Запишите результаты измерений в таблицу. Сделайте вывод о результатах опыта.

Таблица 8.1

m_m , г	m_k , г	m_{m+k} , г	$m_m + m_k$, г



Рис. 8.8. Эталон килограмма

История килограмма. Тысячелетия в разных странах использовались разные единицы массы. В 1791 г. Национальное собрание Франции утвердило проект разработки новых единиц длины и массы, метра и килограмма, которые должны были стать основой для всевозможных измерений «на все времена и для всех народов». Единицу массы первоначально было решено связать с единицей длины. Килограмм определялся как масса кубического дециметра воды при температуре 4 °С. В 1799 г. для упрощения воспроизведения единиц длины и массы были изготовлены **эталоны метра и килограмма** из сплава иридия и платины. Масса изготовленного эталона килограмма была равна массе 1 дм³ воды. Этот эталон (или прототип) килограмма имеет форму цилиндра диаметром и высотой 39 мм (рис. 8.8).

В 1875 г. 17 государств, в числе которых была и Россия, заключили соглашение о принятии длины эталона метра и массы эталона килограмма в качестве основных единиц длины и массы.

Для возможно более точного сохранения и воспроизведения единицы массы первый эталон килограмма и его копии хранятся в специальных лабораториях при постоянной температуре с отклонениями не более 0,01 °С. Для сравнения эталонов между собой используются весы, которые способны обнаружить различия в массе 0,002 мг. Контрольные измерения показывают, что масса эталона килограмма из платины и иридия за 120 лет заметно изменилась и отличается от массы его копий.

Единица массы килограмм в настоящее время не имеет природной основы, которая позволила бы восстановить точное значение единицы массы в случае утраты по какой-то причине прототипа килограмма. В принципе проблема выбора такой единицы давно решена. Экспериментально установлено, что все атомы одного типа имеют совершенно одинаковые массы. Поэтому за эталон массы можно выбрать массу атома одного из химических элементов. В атомной и ядерной физике уже давно используют в качестве эталона массу атома углерода. Но в повседневной практической жизни его применение затруднительно из-за невозможности сравнения массы атома с массой обычных тел.

Для создания нового эталона килограмма в немецком метрологическом институте выращен монокристалл кремния и из него изготовлен шар диаметром около 93,75 мм (рис. 8.9). Масса этого шара равна массе платиновоиридиевого эталона килограмма. Отклонения от сферической поверхности у этого шара не превышают 0,3 нм. При такой близости к идеальному шару размеры неровности на поверхности земного шара не превосходят бы 12–15 мм. Определив расстояния между атомами в кристаллической решётке, можно вычислить количество атомов в эталоне. Таким образом, масса нового эталона может быть выражена через неизменную массу атома кремния.



Рис. 8.9

● Экспериментальное задание 8.2

Работаем самостоятельно

Измерение массы

Оборудование: весы технические, разновес, ластик.

Измерьте массу ластика с помощью весов.

Содержание работы

В повседневной практике обычно массу тела измеряют с помощью равноплечих весов. Для измерения массы тело кладут на одну чашу весов, а на другую ставят одну за другой гиры до достижения равновесия. Равновесие наступает, если исследуемое тело на одной чаше весов притягивается к Земле точно так же, как гиры на другой чаше. Притяжение Земли пропорционально массе тела, при равновесии весов масса тела равна массе гирь. Сложив значения масс всех гирь на одной чаше весов, мы узнаем массу m тела на другой чаше весов.

Указанное на гире значение массы называется номинальным значением массы $m_{\text{нр}}$ гиры. При изготовлении гиры допускается отклонение действительного значения её массы m_r от номинального значения $m_{\text{нр}}$ не более некоторой определённой величины Δm_r , называемой границей погрешности массы гиры: $m_r = m_{\text{нр}} \pm \Delta m_r$.

При использовании нескольких гирь масса m тела может отличаться от суммы номинальных значений масс гирь на сумму границ погрешностей масс гирь:

$$m = m_{\text{нр}1} \pm \Delta m_{r1} + m_{\text{нр}2} \pm \Delta m_{r2} + m_{\text{нр}3} \pm \Delta m_{r3}.$$

Если другие погрешности измерений при взвешивании малы по сравнению с погрешностями масс гирь, то погрешность Δm измерения массы тела не превышает суммы границ погрешностей масс гирь: $\Delta m \leq \pm \Delta m_{r1} \pm \Delta m_{r2} \pm \Delta m_{r3}$.

Порядок выполнения задания

1. Подготовьте весы для взвешивания. Для этого поставьте весы на стол и проверьте их работоспособность. Весы пригодны для измерений, если их чаши совершают небольшие колебания примерно на одинаковом уровне, стрелка весов отклоняется от вертикального положения влево и вправо на небольшие одинаковые углы. Если одна из чаш весов перевешивает другую, добейтесь равновесия весов добавлением на более лёгкую чашу небольших листков бумаги.

2. Для взвешивания ластика положите его на одну чашу весов, а на другую поставьте одну за другой гиры до достижения равновесия весов. Запишите в таблицу 8.3 номинальные значения масс всех гирь, уравновесивших ластик.

3. В таблице 8.2 указаны границы погрешностей масс гирь. Впишите в таблицу 8.3 значения границ погрешностей масс этих гирь. Найдите сумму значений границ погрешностей масс использованных гирь и запишите результат измерения массы ластика с указанием границ возможных погрешностей измерений из-за погрешностей масс гирь.

4. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 8.3.

Таблица 8.2

Номинальное значение массы гиры	Граница погрешности массы гиры
10 мг – 100 мг	1 мг
200 мг	2 мг
500 мг	3 мг
1 г	4 мг
2 г	6 мг
5 г	8 мг
10 г	12 мг
20 г	20 мг
50 г	30 мг
100 г	40 мг

Таблица 8.3

Взвешиваемое тело	Номинальные значения масс гирь	Границы погрешностей масс гирь	Масса тела	Граница погрешности массы тела
Ластик				

§ 9. Плотность вещества

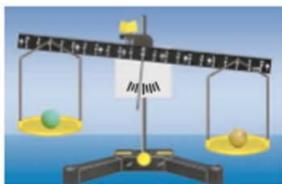


Рис. 9.1. Тела равного объёма разной массы

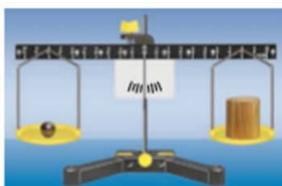


Рис. 9.2. Тела равной массы разного объёма



Рис. 9.3. Резка стекла алмазом



Рис. 9.4. Рисование графитовым карандашом

Плотность вещества. На опыте легко убедиться в том, что тела одинакового объёма могут иметь разные массы (рис. 9.1), а тела разных объёмов, например из железа и дерева, могут иметь одинаковую массу (рис. 9.2). Как объяснить эти результаты?

Можно сказать, что причина в том, что тела изготовлены из разных веществ. Но в чём различие этих веществ?

Величина, характеризующая массу тела в единице объёма, называется плотностью.

Плотность вещества равна отношению массы m тела данного вещества к объёму V тела. Плотность обозначается греческой буквой ρ («ро»). Для определения плотности вещества нужно измерить массу m тела и его объём V , затем разделить массу на объём:

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

При известном значении плотности вещества по измеренному значению объёма можно вычислить массу тела:

$$m = \rho V,$$

а по измеренному значению массы можно вычислить объём тела:

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

От чего зависит плотность вещества. Плотность вещества зависит от свойств мельчайших частиц, из которых оно состоит. Эти частицы называются **атомами**. Например, масса атома золота примерно в 7 раз больше массы атома алюминия. Поэтому при одинаковом количестве атомов в телах из золота и алюминия масса тела из золота должна быть примерно в 7 раз больше массы тела из алюминия. Если бы объёмы атомов золота и алюминия были одинаковыми, то при равном количестве атомов объёмы твёрдых тел из золота и алюминия тоже были бы одинаковыми. Тогда при массе, в 7 раз большей, тело из золота должно обладать плотностью примерно в 7 раз больше плотности алюминия. Так оно и есть на самом деле, плотность золота равна $19\,300 \text{ кг}/\text{м}^3$, плотность алюминия равна $2700 \text{ кг}/\text{м}^3$. Отсюда можно сделать вывод, что атомы золота и алюминия при различии по массе в 7 раз имеют примерно одинаковые радиусы.

Но плотность вещества зависит не только от вида атомов вещества, но и от их взаимного расположения. Например, драгоценный камень алмаз и графит карандаша состоят из совершенно одинаковых атомов — атомов углерода, но плотность алмаза почти в 2 раза больше плотности графита. Можно догадаться, что в алмазе атомы углерода расположены ближе друг к другу, чем в графите.

С плотностью связаны и другие свойства вещества. Например, плотный алмаз является самым твёрдым веществом в природе. Это позволяет использовать его для рез-

ки стекла (рис. 9.3), обработки деталей из самых твёрдых материалов. А менее плотный графит, состоящий из таких же атомов, но расположенных более далеко друг от друга, настолько непрочное вещество, что разрушается при трении о бумагу. На этом свойстве графита основано письмо и рисование карандашом (рис. 9.4).

При измерении массы в килограммах и объёма в кубических метрах плотность вещества выражается в **килограммах на кубический метр**, при измерении массы в граммах и объёма в кубических сантиметрах плотность вещества выражается в **граммах на кубический сантиметр**:

$$\frac{1 \text{ кг}}{1 \text{ м}^3} = 1 \text{ кг/м}^3, \quad \frac{1 \text{ г}}{1 \text{ см}^3} = 1 \text{ г/см}^3.$$

Так как $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$, а $1 \text{ м}^3 = 1000000 \text{ см}^3$, то вещество плотностью 1000 кг/м^3 имеет плотность 1 г/см^3 :

$$1000 \text{ кг/м}^3 = \frac{1000 \text{ кг}}{1 \text{ м}^3} = \frac{1000000 \text{ г}}{1000000 \text{ см}^3} = 1 \text{ г/см}^3.$$

Такова плотность жидкой воды.

Пример решения задачи

Задача. Вычислите массу слитка золота, размеры которого соответствуют размерам рюкзака школьника $30 \times 20 \times 50 \text{ см}$. Плотность золота 19300 кг/м^3 .

Решение:

Массу m_3 слитка золота при известном значении плотности золота ρ_3 можно вычислить по формуле $m_3 = \rho_3 V$, где V — объём слитка.

Вычислим объём V слитка золота по указанным размерам рюкзака:

$$V = 0,3 \text{ м} \cdot 0,2 \text{ м} \cdot 0,5 \text{ м} = 0,03 \text{ м}^3.$$

Вычислим массу золотого слитка:

$$m_3 = 19300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,03 \text{ м}^3 = 579 \text{ кг}.$$

Ответ: $m_3 = 579 \text{ кг}$. Наполненный золотом рюкзак оказался очень тяжёлым!

Задача 9.1. Известно, что средняя плотность тела человека примерно равна плотности воды 1000 кг/м^3 . Зная массу своего тела, вычислите его объём.

Задача 9.2. Для заполнения воздушного шара объёмом 500 м^3 понадобилось 45 кг газа водорода. Определите плотность водорода в шаре и сравните её с плотностью воды.

Вопросы

- Что такое плотность вещества?
- Зависит ли плотность вещества от объёма и массы тела?
- Зависит ли масса тела от его объёма при постоянной плотности вещества?
- От чего зависит плотность вещества?

Плотность твёрдых веществ

Вещество	Плотность ρ , кг/м^3
Алмаз	3515
Алюминий	2700
Вольфрам	19 300
Графит	2265
Железо	7900
Золото	19 300
Лёд	900
Медь	8960
Платина	21 450
Свинец	11 300
Серебро	10 500
Сталь	7800

Экспериментальное задание 9.1

Работаем самостоятельно

Измерение плотности вещества

Оборудование: весы с разновесом, измерительная линейка, деревянный брускок.

Определите плотность вещества бруска.

Порядок выполнения задания

1. Измерьте линейкой длину, ширину и высоту бруска. Вычислите объём бруска.

2. Измерьте массу бруска с помощью весов. Вычислите плотность вещества бруска.

Экспериментальное задание 9.2

Работаем самостоятельно

Измерение плотности жидкости

Оборудование: стакан, неизвестная жидкость, измерительный цилиндр, весы с разновесом.

Используя весы и измерительный цилиндр, определите плотность жидкости.

Порядок выполнения задания

1. Поставьте стакан с жидкостью на весы и измерьте массу m_1 стакана и жидкости (рис. 9.5).

2. Перелейте жидкость в измерительный цилиндр и определите её объём V (рис. 9.6).

3. Поставьте пустой стакан на весы и измерьте массу m_2 стакана (рис. 9.7). Вычислите массу m жидкости:

$$m = m_1 - m_2.$$

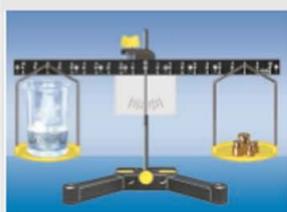


Рис. 9.5. Взвешивание стакана с жидкостью



Рис. 9.6. Измерение объёма жидкости

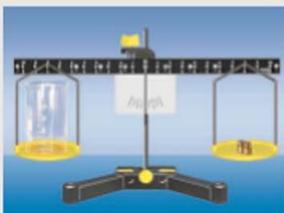


Рис. 9.7. Взвешивание стакана без жидкости

4. По найденным значениям массы жидкости и объёма вычислите плотность жидкости. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Таблица 9.2

$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$m = m_1 - m_2, \text{ г}$	$V, \text{ см}^3$	$\rho, \text{ г}/\text{см}^3$

Плотность жидкостей	
Жидкость	Плотность $\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$
Азотная кислота	1513
Ацетон	790
Бензин	720
Вода (при $t = 4^\circ\text{C}$)	999,973
Масло подсолнечное	926
Нефть	730—940
Ртуть	13 545
Серная кислота (100%)	1840
Спирт этиловый	789
Уксус	1020
Эфир этиловый	714



Дискуссия

Почему озёра зимой не промерзают до дна?

Рассмотрите таблицу зависимости плотности воды от температуры и попробуйте найти ответ на этот вопрос.

Плотность ρ воды при разной температуре t и нормальном атмосферном давлении

$t, {}^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	$t, {}^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$	$t, {}^\circ\text{C}$	$\rho, \text{ кг}/\text{м}^3$
0	999,841	4	999,973	8	999,849
1	999,900	5	999,965	9	999,781
2	999,941	6	999,941	10	999,700
3	999,965	7	999,902		

● Экспериментальное задание 9.3

Работаем самостоятельно

Измерение плотности твёрдого тела

Оборудование: исследуемое тело, стакан, неизвестная жидкость, измерительный цилиндр, весы с разновесом.

С помощью весов и измерительного цилиндра определите плотность твёрдого тела такой формы, при которой не удается вычислить объём путём измерений с помощью линейки.

Порядок выполнения задания

Для измерения объёма твёрдого тела небольших размеров любой формы может быть использован измерительный цилиндр. Для этого в измерительный цилиндр наливают некоторое количество жидкости, не растворяющей и не разрушающей исследуемое тело. Измеряется объём V_1 налитой жидкости (рис. 9.8).

Затем исследуемое тело полностью погружается в жидкость, её уровень в измерительном цилиндре повышается. Объём V_2 , отсчитываемый по шкале цилиндра (рис. 9.9), является суммой объёма V_1 жидкости и объёма V погруженного в жидкость тела:

$$V_2 = V_1 + V.$$

Отсюда объём V погруженного в жидкость тела равен:

$$V = V_2 - V_1.$$

Измерив массу m тела на весах, можно вычислить его плотность:

$$\rho = \frac{m}{V_2 - V_1}.$$

Проделайте необходимые измерения и вычисления и определите плотность тела. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Таблица 9.3

$V_1, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ см}^3$	$V = V_2 - V_1, \text{ см}^3$	$m_1, \text{ г}$	$\rho, \text{ г}/\text{см}^3$



Рис. 9.8



Рис. 9.9

§ 10. Сила

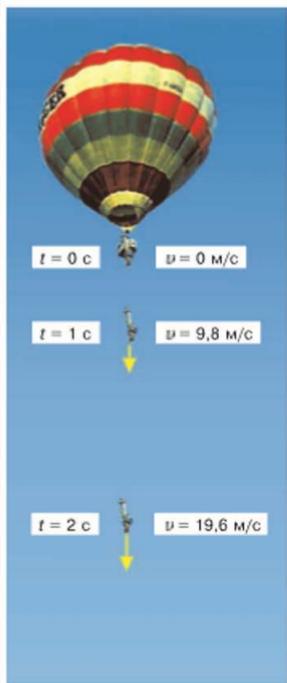


Рис. 10.1

Взаимодействие тел. Наблюдения показывают, что скорость любого тела изменяется только в результате его взаимодействия с другими телами. Автомобиль трогается с места из-за взаимодействия вращающихся колёс с поверхностью дороги. Остановка автомобиля происходит за счёт взаимодействия колёс с поверхностью дороги при торможении.

Без взаимодействия с другими телами не может измениться ни значение скорости, ни её направление. Поворот быстро движущегося автомобиля возможен при хорошем сцеплении шин с дорогой. На скользкой поверхности быстро движущийся автомобиль не слушается руля и продолжает движение по прямой.

В результате взаимодействия с Землёй все тела падают вертикально вниз. Опыты показали, что при свободном падении тел у поверхности Земли за каждую секунду свободного падения скорость тела увеличивается на $9,8 \text{ м/с}$. Близким к свободному падению является начало падения парашютиста при прыжке с большой высоты в разреженном воздухе, оказывающем малое сопротивление движению (рис. 10.1). При неизменных условиях взаимодействия изменение скорости тела в единицу времени одинаково.

Изменение скорости тела в единицу времени можно выбрать в качестве одной из характеристик взаимодействия тел. Если происходит большое изменение скорости тела в единицу времени, то взаимодействие сильное, при малом изменении скорости тела в единицу времени взаимодействие слабое. По изменению скорости мяча мы судим о том, слабый или сильный был удар по мячу.

Изменение скорости в единицу времени не даёт полного представления о взаимодействии тел. Каждый знает, что изменить скорость волейбольного мяча легче, чем изменить скорость стокилограммовой штанги. Для одинакового изменения скорости телу большей массы требуется большее усилие.

Сила. Для полной характеристики взаимодействия тел в физике используется понятие **сила**.

Силой называется физическая величина, равная произведению массы тела на изменение его скорости в единицу времени.

Сила есть причина изменения скорости. В формулах сила обозначается латинской буквой F .

Если движение тела под действием постоянной силы начинается из состояния покоя, то связь силы F , массы m тела и его скорости v через время t после начала действия силы выражается формулой

$$F = m \frac{v}{t}.$$

Единица силы. За единицу силы 1 ньютон принимают такую силу, под действием которой скорость тела массой 1 кг изменяется на 1 м/с за одну секунду.

Название единице силы дано в честь одного из величайших учёных-физиков Исаака Ньютона. Полное название единицы силы пишется со строчной буквы, обозначение записывается одной прописной буквой «Н»: **ньютон** (1 Н).

Сила — векторная величина. Действие одного тела на другое всегда имеет определённое направление, поэтому сила — векторная величина. Направление вектора силы совпадает с направлением вектора изменения скорости. Если до взаимодействия тело было неподвижным, направление вектора изменения скорости совпадает с направлением вектора скорости. В этом случае направление вектора силы совпадает с направлением вектора скорости.

Сила может вызывать изменение скорости тел не только по модулю, но и по направлению. При движении тела по окружности с постоянной по модулю скоростью сила вызывает изменение скорости только по направлению. Так движется спутник под действием силы притяжения Земли по круговой орбите (рис. 10.2).

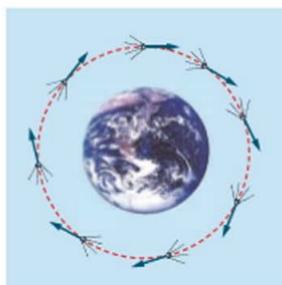


Рис. 10.2

Пример решения задачи

Задача. Автомобиль массой 2000 кг начал прямолинейное движение из состояния покоя и через 10 с под действием постоянной силы разогнался до скорости 30 м/с. Вычислите силу, которая вызвала такое изменение скорости автомобиля.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг}$$

$$t = 10 \text{ с}$$

$$v = 30 \text{ м/с}$$

$$F = ?$$

Решение:

По условию задачи движение автомобиля под действием постоянной силы F началось из состояния покоя, поэтому для нахождения силы, вызвавшей изменение скорости автомобиля, можно воспользоваться формулой

$$F = m \frac{v}{t},$$

где v — скорость автомобиля через время t после начала действия силы. Вычислим силу:

$$F = 2000 \cdot \frac{30}{10} \text{ Н} = 6000 \text{ Н.}$$

Ответ: $F = 6000 \text{ Н.}$

Задача 10.1. Под действием постоянной силы 30 Н скорость камня за 0,5 с увеличилась от 0 до 15 м/с. Вычислите массу камня.

Задача 10.2. Человек бросает камень массой 2 кг, действуя на него постоянной силой 40 Н в течение 0,5 с. С какой скоростью движется камень в момент прекращения действия силы?

Задача 10.3. Ракета массой 10 кг начинает движение из состояния покоя под действием постоянной силы 500 Н. Через сколько секунд скорость ракеты станет равной 20 м/с?



Вопросы

1. По какой причине может изменяться скорость движения тела?
2. Возможно ли движение тела со скоростью, постоянной по модулю, но изменяющейся по направлению?
3. Что такое сила? Как определяется единица силы 1 Н?
4. Приведите примеры взаимодействий, вызывающих изменение скорости тел.

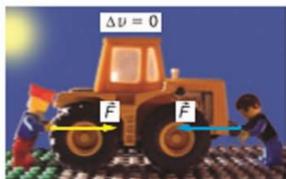


Рис. 10.3

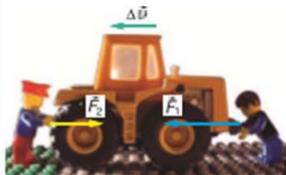


Рис. 10.4

Как можно сравнивать силы. Определение понятия силы, принятое в физике, нельзя назвать простым. Но попытка заменить его каким-то похожим, но более простым определением приведёт к принципиальной ошибке.

У каждого человека до изучения физики на основе практического опыта и общения с людьми, употребляющими слова «сила», «сильный» при описании взаимодействий в окружающем мире, формируются некоторые представления о том, что называют силой. Рассмотрим несколько примеров.

Легко сравнять силы, противоположно направленные вдоль одной прямой. Эти силы равны по модулю, если приложение их к одному телу не вызывает изменения скорости его движения (рис. 10.3).

Если же первоначально неподвижное тело под действием этих сил приходит в движение, то больше та сила, в направлении действия которой движется тело (рис. 10.4).

Труднее сравнивать силы, действующие на разные тела или на одно и то же тело в разное время. Например, на соревнованиях по толканию ядра победителем признают спортсмена, толкнувшего ядро дальше всех. Скорость ядра при толчке изменяется от нуля до некоторого значения, называемого **начальной скоростью**. При одинаковом угле наклона вектора начальной скорости к горизонтальной поверхности ядро улетает тем дальше, чем большее его начальная скорость, т. е. чем больше спортсмен изменил скорость движения ядра. Можно ли при этом утверждать, что победитель этих соревнований с наибольшей силой толкнул ядро? Для ответа на этот вопрос рассмотрим другой пример.

Иван и Сергей решили выяснить, кто из них сильнее. Для этого они придумали такой эксперимент. На ровном горизонтальном участке дороги поставили легковой автомобиль массой 1000 кг и, толкая сзади, по очереди разгоняли его. Иван разогнал автомобиль из состояния покоя до скорости 3 м/с за 6 с, а Сергей разогнал автомобиль до скорости 2,4 м/с за 4 с. Кто же из них с большей силой толкал автомобиль?

Чтобы ответить на этот вопрос, упростим задачу. Будем считать, что трение практически не влияет на движение автомобиля. Тогда для вычисления значения действующей на автомобиль силы достаточно умножить массу автомобиля на изменение его скорости за одну секунду. В первом опыте это изменение равно $3/6 = 0,5$ метра в секунду за секунду, а во втором опыте $2,4/4 = 0,6$ метра в секунду за секунду. Отсюда находим, что Иван толкал автомобиль силой

$$F_{\text{И}} = 1000 \cdot 0,5 \text{ Н} = 500 \text{ Н},$$

а Сергей толкал автомобиль силой

$$F_{\text{С}} = 1000 \cdot 0,6 \text{ Н} = 600 \text{ Н}.$$

Мы получили, что с большей силой толкал автомобиль Сергей. Действуя меньшей силой, Иван разогнал автомобиль до большей скорости за счёт большего времени действия силы.

Вопросы

1. Как можно сравнивать силы, направленные противоположно вдоль одной прямой и приложенные к одному телу?
2. Как можно сравнивать силы, действующие на тела одинаковой массы?
3. Как можно сравнивать силы, действующие на тела разной массы при одинаковом изменении скорости их движения за одинаковое время?

В правильности сделанного вывода можно легко убедиться, предложив Ивану толкать автомобиль вперёд, а Сергею одновременно толкать его в противоположном направлении. Если Иван и Сергей будут толкать автомобиль точно так же, как в первом опыте, то победа будет за Сергеем, так как он действует на автомобиль с большей силой. Следовательно, только по изменению скорости тела и его массе нельзя узнать значение силы, вызвавшей изменение скорости. Нужно знать ещё и время действия силы.

Теперь можно возвратиться к задаче сравнения силы толчка ядра у разных спортсменов. Если длительность толчка ядра была у всех спортсменов одинакова, то вывод о наибольшей силе толчка у спортсмена, сообщившего ядру наибольшую скорость, будет правильным. Но если спортсмены разного роста и рука одного спортсмена длиннее руки другого спортсмена, то, действуя на ядро не сколько меньшей силой, «длиннорукий» спортсмен может сообщить ядру большее изменение скорости за счёт большего времени действия силы на большем пути.

Сила взаимодействия можно сравнять и по массам тел, которые претерпели одинаковые изменения скорости за одинаковое время. Если при одновременном начале движения легковой автомобиль массой 1000 кг и грузовик массой 10 000 кг увеличивают скорость до 100 км/ч за одинаковое время, то следует сделать вывод, что двигатель грузовика действовал в 10 раз большей силой, так как при одинаковом увеличении скорости в единицу времени грузовик имеет в 10 раз большую массу.

Связь скорости тела с действующей на тело силой, массой тела и временем действия силы. Если на первоначально неподвижное тело массой m действует постоянная по значению и направлению сила F , то из формулы, определяющей модуль силы

$$F = m \frac{v}{t},$$

следует, что скорость v тела через интервал времени t после момента начала действия силы равна:

$$v = \frac{Ft}{m}.$$

С помощью последней формулы можно вычислить скорость v тела, приобретаемую телом известной массы m за известное время t под действием постоянной силы F на первоначально неподвижное тело.

Задача 10.4. Во время торможения автомобиля массой 2000 кг его скорость уменьшилась от 72 км/ч до 0. Какое время длилось торможение, если сила торможения была равна 8000 Н?

Задача 10.5. Человек массой 70 кг прыгнул с высокого берега в море. Чему равна скорость движения человека через 0,5 с после прыжка? Влияние сопротивления воздуха не учитывайте, силу тяжести, действующую на человека, примите равной 700 Н.

Силы в природе и технике

Сила тяжести, действующая на комара	0,00005 Н
Сила удара боксёра	5000 Н
Сила тяжести, действующая на слона	50 000 Н
Сила тяги трактора К701	64 000 Н
Сила тяги электровоза	700 000 Н
Сила тяги ракетных двигателей ракеты-носителя «Протон»	31 600 000 Н
Сила тяжести, действующая на пирамиду Хеопса	60 000 000 000 Н
Сила тяжести, действующая со стороны Земли на Луну	200 000 000 000 000 000 Н

§11. Сила тяжести. Вес



Рис. 11.1. Зависимость силы тяжести от расстояния до Земли

Сила тяжести.

Силу притяжения, действующую со стороны Земли на все тела, называют силой тяжести.

Опыты показали, что при свободном падении на Землю (при отсутствии сопротивления воздуха) на уровне моря скорость любого тела за одну секунду изменяется на $9,8 \text{ м/с}$. Значение действующей на тело силы равно произведению массы тела на изменение его скорости за секунду. Поэтому на уровне моря сила тяжести F_t в ньютонах равна произведению массы m тела в килограммах на коэффициент g ($g = 9,8 \text{ Н/кг}$):

$$F_t = m \cdot g (\text{Н}) = m \cdot 9,8 (\text{Н}). \quad (11.1)$$

Выражение (11.1) показывает, что *сила тяжести пропорциональна массе тела*.

Из выражения (11.1) следует, что у поверхности Земли на уровне моря на тело массой 1 кг действует сила тяжести 9,8 Н. Опыты показали, что сила тяжести в одном месте вблизи Земли не зависит от того, покоятся тело или движется, находится ли оно в вакууме, или в воздухе, или в жидкости.

С увеличением расстояния от Земли сила тяжести убывает. На тело массой 100 кг на уровне моря действует сила притяжения Земли 980 Н, на высоте 10 км — 977 Н, на высоте 500 км — 845 Н, а на расстоянии 400 000 км, на орбите Луны, действует сила тяжести всего 0,25 Н (рис. 11.1).

Сила гравитационного притяжения. Силу тяжести называют силой гравитационного притяжения или **силой гравитации**. Сила гравитационного притяжения действует между любыми телами, обладающими массой. Она тем больше, чем больше массы тел, и уменьшается с увеличением расстояния между телами.

Сила гравитационного притяжения со стороны Солнца заставляет Землю и все остальные планеты двигаться по своим орбитам вокруг Солнца, Земля своим гравитационным притяжением удерживает вблизи себя Луну и множество искусственных спутников Земли.

В повседневной жизни мы не замечаем действия сил гравитационного притяжения ни от одного тела, кроме Земли. Но это не значит, что действительно нет гравитационного притяжения, например, между телами двух людей или двумя автомобилями. Всё дело в том, что масса человека примерно в сто тысяч миллиардов миллиардов раз меньше массы Земли, поэтому со стороны одного человека на другого на расстоянии, равном расстоянию до центра Земли, действует сила, в сто тысяч миллиардов миллиардов раз меньшая силы притяжения Земли. Однако с помощью очень чувствительных весов уже в 1798 г. было обнаружено гравитационное притяжение между обычными небольшими телами.

Вес тела. С массой тела и силой тяжести связана физическая величина, называемая **весом** тела.

Весом называют силу, с которой тело в результате действия на него силы тяжести действует на опору или подвес, препятствующие падению тела.

На неподвижной или равномерно прямолинейно движущейся опоре вес тела равен силе тяжести. Но сила тяжести \vec{F}_t приложена к телу, а сила веса \vec{P} приложена к опоре или подвесу (рис. 11.2).

При изменении скорости опоры или подвеса вес тела может быть большие или меньшие силы тяжести. Когда лифт начинает движение вверх, вес тела больше силы тяжести. У человека даже немного сгибаются ноги в коленях из-за избыточного веса, от того, что пол давит на ноги снизу. Если опора под телом опускается вниз с возрастающей скоростью, то вес тела меньше силы тяжести. Это чувствуется в лифте при начале его движения вниз, когда пол уходит из-под ног.

В свободно падающем лифте на предмет действует та же сила тяжести, как в неподвижном лифте, но вес этого предмета равен нулю, наступает состояние невесомости. В состоянии невесомости находятся пассажиры в самолётах во время пикирования и космонавты в космических кораблях (рис. 11.3).

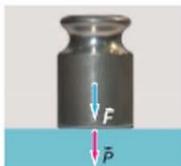


Рис. 11.2. Сила тяжести и вес тела



Рис. 11.3

Пример решения задачи

Задача. Вычислите силу тяжести, действующую на тело массой 150 г.

Дано:	СИ
$m = 150 \text{ г}$	$0,15 \text{ кг}$
$F_t = ?$... Н

Решение:

На Земле на уровне моря сила тяжести F_t , равна произведению массы m тела на коэффициент $9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$: $F_t = 9,8m$.

Вычислим силу тяжести, действующую на тело массой 150 г = 0,15 кг:

$$F_t = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,15 \text{ кг} = 1,47 \text{ Н.}$$

Ответ: $F_t = 1,47 \text{ Н.}$

Задача 11.1. При подвешивании груза на крючок динамометра установили, что сила притяжения груза к Земле равна 1,96 Н. Чему равна масса груза?

Задача 11.2. Вычислите силу притяжения к Земле, действующую на человека массой 50 кг.

Задача 11.3. Гиря стоит на столе. На неё действует сила тяжести 49 Н. Чему равна масса гири?

Задача 11.4. Арбуз массой 10 кг лежит на столе. Чему равны вес арбуза и действующая на арбуз сила тяжести? К какому телу приложена сила тяжести?

Задача 11.5. На земле стоит ведро массой 6 кг. Чему равны вес ведра и действующая на ведро сила тяжести? К какому телу приложена сила веса?



Вопросы

- Что такое сила тяжести?
- На каком основании сделан вывод о том, что сила тяжести прямо пропорциональна массе тела?
- Какая сила называется весом тела?
- Чем отличается вес тела от силы тяжести?

Сила тяжести на других планетах. Масса Луны значительно меньше массы Земли. Поэтому на космонавта массой 100 кг на поверхности Луны действует сила гравитационного притяжения, примерно в 6 раз меньшая, чем на поверхности Земли. У поверхности планеты Юпитер, обладающей большой массой и большим радиусом, сила гравитационного притяжения примерно в 2,4 раза больше, чем на поверхности Земли (рис. 11.4).



Рис. 11.4. Сила тяжести, действующая на космонавта массой 100 кг на разных небесных телах

Гравитационное поле. Как же действуют друг на друга тела силой гравитации на расстояниях в сотни миллионов километров в пустом космическом пространстве? По современным представлениям, космическое пространство вовсе не пусто. Оно заполнено различными полями. Одним из видов таких полей, существующих во Вселенной, является гравитационное поле, или поле силы тяжести. Каждое тело, обладающее массой, создаёт вокруг себя в мировом пространстве непрерывное гравитационное поле, простирающееся до бесконечности. В каждой точке пространства гравитационное поле действует на любое тело, обладающее массой m , силой гравитационного притяжения F_g , пропорциональной массе m тела: $F_g = mg$.

Отношение силы гравитационного притяжения F_g к массе m тела, на которое действует гравитационное поле, является для данной точки поля постоянной величиной, не зависящей от массы m тела:

$$g = \frac{F_g}{m}.$$

Это отношение равно по модулю силе тяготения, действующей на тело массой 1 кг. У поверхности Земли $g = 9,8$ Н/кг.

Масса, сила тяжести и вес тела. В повседневной практике большинство людей не различают понятия «масса» и «вес», а силу тяжести считают совпадающей с весом. Чтобы не допускать подобных ошибок, рассмотрим подробнее, чем отличается масса тела от его веса и силы тяжести.

1. Масса тела — это свойство данного тела, не изменяющееся в зависимости от того, какие другие тела находятся вокруг него. Масса является неизменной количественной мерой инертности тела и его способности к гравитационному взаимодействию. Если в измерениях на поверхности Земли установлено, что данное тело обладает массой 6 кг, то точно такой же результат будет получен при измерениях массы этого тела и высоко в горах, и на Луне, и в космическом корабле.

Сила тяжести, действующая на данное тело, зависит от того, какие другие тела находятся вокруг этого тела. Если на Земле на тело действует сила тяжести 60 Н, то на Луне на него действует сила тяжести, примерно равная 10 Н.

2. Масса тела — это свойство данного тела, не изменяющееся в зависимости от того, движется тело или покоятся. Если при измерениях на неподвижных весах установлено, что данное тело обладает массой 1 кг, то точно такой же результат будет получен при измерениях массы и в лифте при его движении.

Сила тяжести, действующая на тело в данной точке гравитационного поля, не зависит от того, движется тело или покоятся.

Вес тела зависит от того, как движутся это тело и поддерживающая его опора или подвес. Если при измерениях на неподвижном динамометре установлено, что данное тело обладает весом 60 Н, то в лифте, начинающем движение вверх, вес этого тела оказывается больше 60 Н; в лифте, начинающем движение вниз, вес этого тела оказывается меньше 60 Н. В движущемся по инерции космическом корабле вес равен нулю (состояние невесомости).

3. Масса тела — скалярная величина, не имеющая какого-то направления в пространстве.

Сила тяжести и вес тела — векторные величины, имеющие определённое направление в пространстве.

4. Масса тела выражается в килограммах. Сила тяжести и вес тела выражаются в ньютонах.

Трудно бороться с человеческими привычками, но попробуйте побороть привычку говорить: «Мой вес 60 килограммов». Когда вы взвешиваетесь на весах со шкалой, отградуированной в килограммах, вы измеряете массу своего тела. Если вы действительно хотите сказать о своём весе, то в случае неподвижности относительно Земли умножьте массу тела на коэффициент 9,8, и вы получите свой вес в ньютонах.

Рассмотрим теперь, что общего есть в понятиях силы тяжести и веса.

1. Вес и сила тяжести выражаются в одинаковых единицах — в ньютонах.

2. Для неподвижных тел на горизонтальной опоре или вертикальном подвесе они являются векторами сил, имеющих одинаковое направление в пространстве.

Задача 11.6. Вычислите силу тяжести, действующую на воздушный шар массой 500 кг, неподвижно висящий в воздухе.

Задача 11.7. Вычислите силу тяжести, действующую на человека массой 100 кг, плавающего в воде.



Найдите

Ещё один возможный вариант прибора см. на сайте:
<http://fisikahool.ucoz.ru>

Проектное задание 11.1

Попробуйте изобрести прибор, обнаруживающий состояние невесомости. Если вам это удастся, изготовьте такой прибор и продемонстрируйте его в действии.

Подсказка: на рисунке 11.5 представлена схема устройства одного из возможных вариантов такого прибора.

В пластмассовой банке закреплены четыре пары нормально замкнутых контактов от электромагнитного реле в плоскости, параллельной дну банки. Контакты соединены последовательно с гальваническим элементом и электрической лампочкой. Подвижные части всех четырёх контактов соединены с грузом. При расположении дна банки в вертикальной плоскости груз под действием силы веса размыкает хотя бы один контакт. Лампочка не светится. Если банку бросить, то во время движения она будет в состоянии невесомости. Нить не будет натягиваться, контакты замкнутся, лампочка будет светиться.

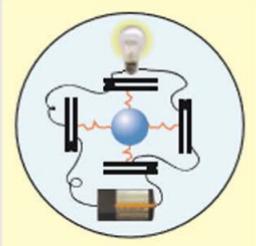
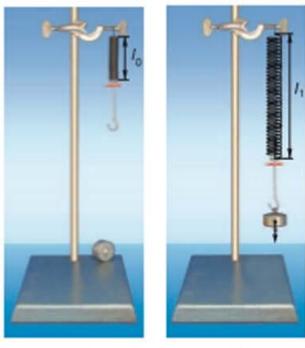


Рис. 11.5

§12. Сила упругости



а) б)

Рис. 12.1

Сила упругости. Возьмём стальную пружину и закрепим один её конец на штативе (рис. 12.1, а). Затем подвесим на свободный конец пружины гирю. Под действием силы тяжести гиря приходит в движение и начинает опускаться вниз (рис. 12.1, б). Если гирю поддерживать снизу и медленно опускать, то после некоторого растяжения пружины движение гиря прекращается. Так как гиря неподвижна, значит, на ней, кроме силы тяжести, действует со стороны пружины равная по модулю, но противоположно направленная сила.

Но почему сила со стороны пружины не препятствовала движению гиря при подвешивании, а стала препятствовать после заметного её растяжения? Чтобы ответить на этот вопрос, измерим, насколько растянулась пружина при подвешивании гиря. Затем подвесим две такие гири и вновь измерим растяжение пружины. Опыт показывает, что растяжение пружины при подвешивании двух гири в 2 раза больше, чем при подвешивании одной гири. При вдвое большем растяжении пружина действует с вдвое большей силой.

Изменение размеров или формы тела называется деформацией тела.
Сила, возникающая при деформации, называется силой упругости.

Деформация тела называется **упругой**, если она полностью исчезает после прекращения действия вызвавших её внешних сил.

При подвешивании тела пружина сначала не препятствовала движению гиря, так как при отсутствии деформации сила упругости была равна нулю. По мере увеличения деформации пружины возрастила сила упругости.

Таким образом, при действии на тело других тел изменение скорости является не единственным возможным результатом. Другим возможным результатом взаимодействия тел является деформация тел.

Причиной возникновения сил упругости являются изменения взаимного расположения атомов при деформации тел. При сжатии тел сближение атомов препятствуют силам отталкивания между атомами. При растяжении взаимному удалению атомов препятствуют силам притяжения между атомами. В результате вектор силы упругости всегда направлен противоположно направлению растяжения или сжатия.

Удлинение тела при его растяжении обозначают буквой x . Так как

сила упругости $F_{\text{упр}}$ пропорциональна удлинению x и направлена противоположно ему,

в формуле для силы упругости ставится знак «минус»:

$$F_{\text{упр}} = -kx.$$

Коэффициент k называется **жёсткостью** тела. Чем больше жёсткость тела, тем меньше оно деформируется при заданной силе.

Единица жёсткости — **ньютон на метр** (1 Н/м).

Измерение сил. Значение силы можно определить по результату её действия на тело известной массы. Для этого нужно измерить изменение скорости тела за очень короткий интервал времени и вычислить изменение скорости в единицу времени. Измерения сил по изменениям скоростей тел выполняются во многих научных исследованиях в атомной и ядерной физике, в физике элементарных частиц, в астрономии. Но в технике и в повседневной жизни обычно измеряют силы с помощью очень простых приборов, называемых **динамометрами**.

Динамометр. Принцип действия динамометра основан на использовании прямой пропорциональной зависимости силы упругости от удлинения тела.

Для изготовления динамометра нужно сначала выяснить, на тело какой массы со стороны Земли действует сила тяжести, равная 1 Н. Так как сила тяжести прямо пропорциональна массе тела, а на тело массой 1 кг действует сила тяжести 9,8 Н, то сила тяжести 1 Н будет действовать на тело в 9,8 раза меньшей массы:

$$m = \frac{1 \text{ кг}}{9,8} \approx 0,102 \text{ кг} \approx 102 \text{ г.}$$

Подвешивание на пружине динамометра груза массой 102 г вызывает действие силы тяжести 1 Н, груза массой 204 г вызывает действие силы тяжести 2 Н и т. д. Измерив удлинение пружины под действием разных сил тяжести, можно изготовить шкалу динамометра для измерения любых сил. Главными деталями динамометра являются стальная пружина и шкала. Один конец пружины прикреплён к корпусу динамометра, другой конец пружины свободный и оканчивается крючком. Динамометр имеет на конце пружины указатель, перемещающийся вдоль шкалы (рис. 12.2).



Рис. 12.2

Экспериментальное задание 12.1

Работаем самостоятельно

Исследование зависимости удлинения стальной пружины от приложенной силы

Оборудование: стальная пружина, измерительная линейка, штатив с принадлежностями, набор грузов.

Порядок выполнения задания

1. Для исследования зависимости удлинения стальной пружины от приложенной силы закрепите один конец пружины на штативе и измерьте с помощью линейки длину l_0 пружины (см. рис. 12.1). Результат измерения запишите в таблицу 12.1 против значения действующей силы 0.

2. Подвесьте на пружину груз массой 100 г и измерьте длину l_1 пружины. Результат измерения запишите в таблицу 12.1 против значения действующей силы 0,98 Н ≈ 1 Н.

3. Вычислите удлинение пружины $x = l_1 - l_0$ и запишите результат в таблицу 12.1.

4. Добавляя по одному грузу массой 100 г, измерьте длину пружины для каждого нового значения силы и вычислите удлинение пружины x при этом значении. Измерения проведите для пяти грузов.

5. Постройте график зависимости удлинения пружины от приложенной силы.

Таблица 12.1

Сила F , Н	Длина l_1 , см	Удлинение x , см
0		
1		
2		
3		
4		
5		



Вопросы

- Что называется деформацией тел?
- Что такое сила упругости?
- От чего зависит сила упругости?
- В чём причина возникновения силы упругости?
- Как направлен вектор силы упругости?



Рис. 12.3. Изготовление модели динамометра

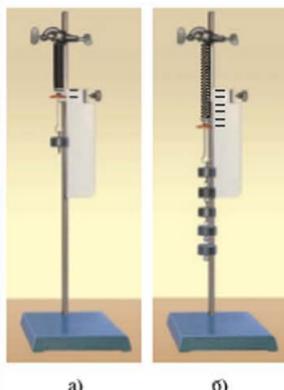


Рис. 12.4. Градуировка модели динамометра

Изготовление модели динамометра. Для изготовления модели динамометра нужны стальная пружина, деревянная пластина для закрепления пружины и набор гирь (грузов). Пластина должна быть длиннее пружины, для того чтобы на ней можно было укрепить шкалу прибора.

Закрепим пластину вертикально на штативе так, чтобы подвешенная за один конец пружина висела параллельно пластине. На свободном конце пружины прикрепим указатель для отметки положения конца пружины на шкале прибора. Указатель можно сделать, например, из куска проволоки.

Для изготовления шкалы динамометра на пластину наклеим полоску бумаги. На этой полоске при вертикальном расположении модели динамометра без груза на пружине против указателя сделаем отметку, соответствующую значению действующей силы 0 Н (рис. 12.3).

Подвесим на пружину груз массой 102 г. В этом случае на груз действует сила тяжести 1 Н и пружина растягивается силой 1 Н. Делаем на шкале отметку, соответствующую значению действующей силы 1 Н (рис. 12.4, а).

Затем подвешиваем ещё один груз массой 102 г и делаем отметку 2 Н. Далее продолжаем добавлять по одному грузу массой 102 г и делаем отметки значений сил на шкале до 5 Н (рис. 12.4, б).

Аналогичным способом можно изготовить динамометры для измерений сил от 0 до 1 Н, от 0 до 50 Н и т. д.

● Экспериментальное задание 12.2

Работаем самостоятельно

Исследование зависимости удлинения резины от приложенной силы

Оборудование: резиновая нить, измерительная линейка, штатив с принадлежностями, набор грузов.

Порядок выполнения задания

1. Для исследования зависимости удлинения резины от приложенной силы используйте резиновые кольца, которые продаются в магазинах, торгующих канцелярскими принадлежностями (рис. 12.5).



Рис. 12.5. Резиновые кольца

Закрепите резиновое кольцо на штативе, подвесьте на него стержень для навешивания грузов и измерьте с помощью линейки начальную длину l_0 резины. Результат измерения запишите в таблицу 12.2 против значения действующей силы 0.

Таблица 12.2

Сила F , Н	Серия 1		Серия 2	
	Длина l , см	Удлинение Δl , см	Длина l , см	Удлинение Δl , см
0				
0,5				
1,0				
1,5				
2,0				
2,5				



Рис. 12.6

2. Подвесьте на резину груз массой 50 г и измерьте её длину l_1 (рис. 12.6). Результат измерения запишите в таблицу 12.2 против значения действующей силы $0,49 \text{ Н} \approx 0,5 \text{ Н}$ в колонку «Серия 1».

3. Продолжая добавлять по одному грузу массой 50 г, измерьте длину резины для каждого нового значения силы, увеличенного примерно на $0,5 \text{ Н}$ (рис. 12.7). Измерения проводите для пяти грузов.

4. Повторите серию измерений в обратном порядке — сначала для пяти грузов, затем для четырёх, трёх, двух и одного груза. Результаты измерений запишите в колонку «Серия 2».

5. Вычислите удлинение резины Δl для каждой серии измерений и запишите результаты в таблицу 12.2.

6. Постройте графики зависимости удлинения резины от приложенной силы для каждой серии измерений.

7. Сделайте вывод, пригодна ли резина в качестве материала для изготовления динамометров. Обоснуйте свой вывод.



Рис. 12.7

§13. Сложение сил



Вопросы

- Что называют равнодействующей нескольких сил?
- Как можно определить, что данная сила является равнодействующей нескольких известных сил?

Равнодействующая сила. Любое тело в природе одновременно взаимодействует с многими другими телами. На каждое тело действуют сила тяжести со стороны Земли, силы упругости со стороны опоры или со стороны тянувших либо толкающих тел. Нужно каким-то образом найти результат одновременного действия множества сил. Если результат действия на тело одновременно многих сил такой, что его можно получить действием одной силы, то такую силу называют **равнодействующей** всех этих сил. Однаковость действия может быть установлена по одинаковости изменения скорости тела в единицу времени или измерением сил динамометром.

Сложение двух векторов сил. В случае небольшого числа действующих сил их равнодействующая может быть найдена по правилам сложения векторных величин. Эти правила установлены экспериментально, и мы их получим из опытов.

● Экспериментальное задание 13.1



Рис. 13.1. Растижение пружины двумя динамометрами в одном направлении



Рис. 13.2. Растижение пружины одним динамометром

Работаем самостоятельно

Сложение сил, направленных вдоль одной прямой

Оборудование: два динамометра, пружина, бумага, карандаш, измерительная линейка.

I. Исследуйте результат сложения двух параллельно направленных сил.

Порядок выполнения задания

1. Положите на стол лист бумаги. Закрепите один конец пружины, к другому концу пружины привяжите две нити с петлями на концах. Петли нитей наденьте на крючки двух динамометров.

2. Расположите динамометры параллельно друг другу и потяните их за крючки в одном направлении, растягивая пружину. Отметьте на листе бумаги точкой А положение конца пружины (рис. 13.1). Отсчитайте показания F_1 и F_2 динамометров.

3. Для нахождения равнодействующей двух сил растяните пружину с помощью одного динамометра до точки А и отсчитайте показания F_3 динамометра (рис. 13.2). Результат измерений запишите в таблицу 13.1а.

Таблица 13.1а

Направления сил	F_1 , Н	F_2 , Н	F_3 , Н	$F_1 + F_2$, Н
$\vec{F}_1 \parallel \vec{F}_2$				

4. Сравните значение равнодействующей двух сил F_3 с суммой сил F_1 и F_2 .

Сформулируйте закон сложения сил, направленных параллельно.

Результат опыта показывает, что при сложении двух сил, направленных вдоль одной прямой в одну сторону, равнодействующая сила равна сумме этих сил и направлена в ту же сторону, что и эти две силы. Вектор равнодействующей сил \vec{F}_3 можно найти, приставив начало вектора \vec{F}_2 второй силы к концу вектора \vec{F}_1 первой силы и проведя вектор \vec{F}_3 от начала вектора \vec{F}_1 первой силы до конца вектора \vec{F}_2 второй силы (рис. 13.3). Вектор силы переносится в пространстве параллельно самому себе, сохраняя своё направление и модуль.

II. Исследуйте результат сложения двух противоположно направленных сил.

Порядок выполнения задания

- Наденьте петли двух нитей на крючки двух динамометров. Расположите динамометры вдоль одной прямой, но по разные стороны от конца пружины. Растигните пружину с помощью первого динамометра на 3–4 см за точку A. Затем, удерживая первый динамометр в неизменном положении, потяните нить в противоположном направлении с помощью второго динамометра до совмещения конца пружины с точкой A на листе бумаги. Отсчитайте показания F_1 и F_2 динамометров.
- Снимите с петли крючок динамометра, тянувшего пружину в противоположном направлении. Растигните пружину первым динамометром до точки A. Для нахождения значения равнодействующей двух сил снимите показания F_3 динамометра. Результаты измерений запишите в таблицу 13.16.

Таблица 13.16

Направления сил	F_1 , Н	F_2 , Н	F_3 , Н	$F_1 - F_2$, Н
$\vec{F}_1 \uparrow \downarrow \vec{F}_2$				

3. Сравните модуль равнодействующей двух сил F_3 с разностью модулей сил F_1 и F_2 : $F_3 = ? = F_1 - F_2$.

Сформулируйте закон сложения сил, направленных противоположно.

При сложении двух сил, направленных вдоль одной прямой в противоположные стороны, модуль равнодействующей силы равен разности модулей этих сил, а вектор равнодействующей силы направлен параллельно тому из двух векторов, у которого больше модуль. Вектор равнодействующей сил \vec{F}_3 можно найти, приставив начало вектора силы \vec{F}_2 к концу вектора силы \vec{F}_1 и проведя вектор \vec{F}_3 от начала вектора \vec{F}_1 первой силы до конца вектора \vec{F}_2 второй силы (рис. 13.4).

Это правило нахождения вектора равнодействующей двух сил такое же, как для случая действия сил, направленных вдоль одной прямой в одну сторону.

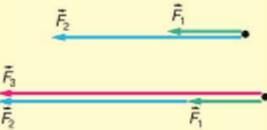


Рис. 13.3. Сложение параллельных векторов сил

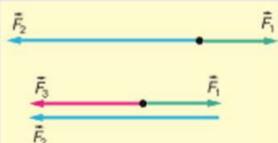


Рис. 13.4. Сложение противоположно направленных векторов сил

Определение равнодействующей сил, приложенных к одной точке тела. Для полного ответа на вопрос о результате действия любого числа сил с любыми направлениями векторов, приложенных к одной точке тела, нужно уметь находить равнодействующую двух произвольно направленных сил. Определив равнодействующую двух сил, можно затем найти результат её сложения с третьей силой и так продолжать до нахождения равнодействующей всех сил.

● Экспериментальное задание 13.2

Работаем самостоятельно

Сложение сил, направленных под углом

Оборудование: два динамометра, пружина, бумага, карандаш, измерительная линейка.

Исследуйте результат действия двух сил, направленных под углом.

Порядок выполнения задания

1. Положите на стол лист бумаги. Закрепите один конец пружины, к другому концу пружины привяжите две нити с петлями на концах. Петли нитей наденьте на крючки двух динамометров.

2. Расположите динамометры под углом друг к другу и растяните пружину. Отметьте на листе бумаги точкой А положение конца пружины. Отметьте на бумаге прямые, на которых лежат векторы сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Отсчитайте показания динамометров (рис. 13.5).

3. Снимите с одной нити крючок динамометра. С помощью второго динамометра растяните пружину точно так же, как в первом опыте, т. е. до точки А. Для нахождения равнодействующей двух сил отсчитайте показания F_3 динамометра и отметьте на бумаге прямую, на которой лежит вектор \vec{F}_3 равнодействующей сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 (рис. 13.6).

Зная модули сил F_1 , F_2 и F_3 и их направления, можно построить векторы сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , действующих на пружину, и вектор \vec{F}_3 равнодействующей этих сил.

Для построения этих векторов нужно выбрать масштаб изображения. Например, вектор силы 1 Н изображается стрелкой длиной 2 см, вектор силы 2 Н — стрелкой длиной 4 см и т. д. В результате на листе бумаги получаем изображения векторов сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 и вектора равнодействующей этих сил \vec{F}_3 (рис. 13.7).

Направления и модули всех трёх векторов сил получены экспериментально. Вопрос заключается в том, чтобы найти способ определения направления и модуля равнодействующей двух известных сил без выполнения эксперимента.



Рис. 13.5



Рис. 13.6

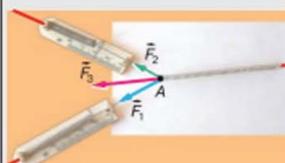


Рис. 13.7

Прежде всего проверим, применимо ли правило нахождения равнодействующей двух сил, направленных вдоль одной прямой, и в случае векторов сил, не лежащих на одной прямой. Для этого перенесём вектор \vec{F}_2 параллельно самому себе и приставим его начало к концу вектора \vec{F}_1 . Затем построим вектор, соединяющий начало вектора \vec{F}_1 с концом вектора \vec{F}_2 . Построенный таким образом вектор совпадает с экспериментально найденным вектором \vec{F}_3 равнодействующей векторов сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Точно такой же результат получается, если приставить начало вектора \vec{F}_1 к концу вектора \vec{F}_2 , а затем построить вектор, соединяющий начало вектора \vec{F}_2 с концом вектора \vec{F}_1 (рис. 13.8).

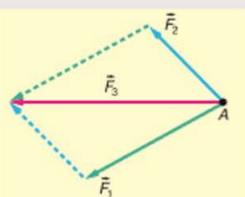


Рис. 13.8

Общее правило сложения векторов сил называется **правилом параллелограмма** и формулируется так:

вектор равнодействующей двух сил, приложенных к одной точке, является диагональю параллелограмма, сторонами которого являются эти силы, и приложен к той же точке.

Пользуясь правилом параллелограмма, можно не только находить вектор равнодействующей двух векторов сил, но и по известному вектору равнодействующей находить модули двух действующих сил при известных направлениях этих векторов. Для этого через точку A приложения искомых векторов сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 нужно провести прямые, на которых лежат эти векторы, и построить вектор равнодействующей \vec{F}_3 этих сил с началом в той же точке A . Затем через конец вектора \vec{F}_3 равнодействующей провести прямые, параллельные первым, вдоль которых расположены векторы двух слагаемых сил. Точки пересечения прямых отметят положения концов искомых векторов \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , начала которых находятся в точке A (рис. 13.9).

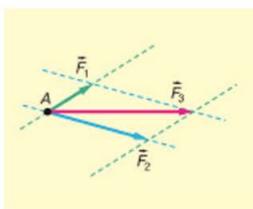


Рис. 13.9

Задача 13.1. Найдите направление и модуль вектора равнодействующей векторов сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , представленных на рисунке 13.10, а). Модуль вектора силы \vec{F}_1 равен 5 Н.

Задача 13.2. Найдите модули векторов сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 по представленным на рисунке 13.10, б) прямым, на которых лежат эти векторы, и вектору их равнодействующей \vec{F}_3 . Модуль вектора равнодействующей равен 6 Н.

Задача 13.3. Найдите направление и модуль вектора \vec{F}_3 , который при сложении с вектором \vec{F}_1 даёт равнодействующую \vec{F}_2 , представленную на рисунке 13.10, в). Модуль вектора силы F_1 равен 2 Н.

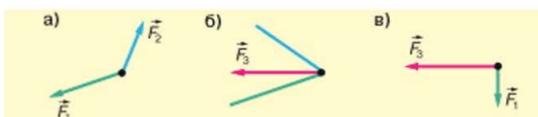


Рис. 13.10

**Вопросы**

- Сформулируйте правило сложения векторов сил.
- Объясните, как можно найти одну из двух действующих сил по известной другой действующей силе и равнодействующей силы.

Тест 2

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем «**Масса. Сила. Сила тяжести. Сила упругости. Сложение сил.**».

Работу над заданиями теста следует проводить так же, как рекомендовано на с. 36 для теста 1.

1. При попытке автомобилиста быстро набрать большую скорость колёса автомобиля прокручиваются и автомобиль разгоняется лишь постепенно. Это объясняется
 - 1) действием большой силы трения на колёса
 - 2) малой силой трения, действующей на колёса
 - 3) явлением инерции
 - 4) действием силы тяжести
2. Гиря подвешена на нити, которая не обрывается под действием тяжести гири, но легко обрывается при небольшом добавлении груза. Снизу к гире привязана точно такая же нить. Если за эту нить резко дёрнуть, то
 - 1) оборвётся верхняя нить
 - 2) оборвётся нижняя нить
 - 3) оборвутся обе нити, сначала верхняя, потом нижняя
 - 4) оборвутся обе нити, сначала нижняя, потом верхняя
3. Тела А и Б имеют одинаковый объём, тело А сильнее притягивается к Земле, чем тело Б. Какое из этих тел инертнее?
 - 1) инертнее тело А
 - 2) инертнее тело Б
 - 3) тела А и Б одинаково инертны
 - 4) инертность тела не зависит ни от объёма тела, ни от его способности к притяжению к Земле, поэтому по условию задачи нельзя определить, какое из тел инертнее
4. Основная единица массы в Международной системе — это
 - 1) грамм 3) ньютон
 - 2) килограмм 4) тонна
5. При превращении жидкой воды в лёд её объём увеличивается. Как изменяется при этом плотность воды?
 - 1) плотность воды увеличивается
 - 2) плотность воды уменьшается
 - 3) плотность воды не изменяется
 - 4) плотность воды может увеличиться или уменьшиться в зависимости от количества воды в опыте
6. Массы сплошных однородных тел А, Б и В одинаковы, из них тело А имеет наименьший объём, а тело Б — наибольший (рис. Т2.1). Какое из этих тел обладает наименьшей плотностью вещества?

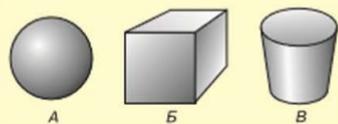


Рис. Т2.1

- 1) тело А
- 2) тело Б
- 3) тело В
- 4) плотность вещества всех трёх тел одинакова
7. Силой называется физическая величина
 - 1) прямо пропорциональная массе тела и изменению скорости тела
 - 2) прямо пропорциональная массе тела и скорости тела
 - 3) прямо пропорциональная массе тела и изменению скорости тела в единицу времени
 - 4) прямо пропорциональная массе тела и изменению скорости тела в единицу времени и обратно пропорциональная массе тела
8. Сила — векторная физическая величина, потому что она
 - 1) характеризуется не только числовым значением, но и направлением действия
 - 2) характеризуется только числовым значением
 - 3) характеризуется только направлением действия и не имеет числового значения
 - 4) прямо пропорциональна массе тела и изменению скорости тела в единицу времени

9. Силой тяжести называется сила, действующая

- 1) со стороны тела на опору или подвес
- 2) со стороны Земли только на неподвижные тела
- 3) со стороны Земли только на свободно падающие тела
- 4) со стороны Земли на любые тела независимо от того, движутся они или нет

10. Гиря массой 10 кг стоит на столе. Чему равен вес гири?

- 1) 0
- 3) 10 Н
- 2) 9,8 Н
- 4) 98 Н

11. Люстра подвешена к потолку на крючке. К каким телам приложены сила тяжести и сила веса люстры?

- 1) сила тяжести приложена к крючку, сила веса — к люстре
- 2) сила тяжести приложена к люстре, сила веса — к крючку
- 3) сила тяжести и сила веса приложены к крючку
- 4) сила тяжести и сила веса приложены к люстре

12. Как зависит сила упругости от деформации тела и как направлен вектор силы упругости?

- 1) сила упругости прямо пропорциональна деформации тела и направлена противоположно направлению деформации
- 2) сила упругости прямо пропорциональна деформации тела и направлена по направлению деформации
- 3) сила упругости обратно пропорциональна деформации тела и направлена противоположно направлению деформации

4) сила упругости обратно пропорциональна деформации тела и направлена по направлению деформации

13. Два вектора сил приложены к одной точке тела (рис. Т2.2). Модуль вектора \vec{F}_1 равен 6 Н, модуль вектора \vec{F}_2 равен 15 Н. Чему равен модуль вектора равнодействующей этих сил?



Рис. Т2.2

- 1) 9 Н
- 3) 21 Н
- 2) 10,5 Н
- 4) 90 Н

14. Два вектора сил приложены к одной точке тела (рис. Т2.3). Модуль вектора \vec{F}_1 равен 3 Н, модуль вектора \vec{F}_2 равен 4 Н. Чему равен модуль вектора равнодействующей этих сил?



Рис. Т2.3

- 1) 1 Н
- 3) 5 Н
- 2) 3,5 Н
- 4) 7 Н

§14. Равновесие тел



Рис. 14.1

Рычаг. Мы рассмотрели только случай действия на тело нескольких сил, приложенных к одной точке. В практической жизни встречаются случаи действия на тело нескольких сил, приложенных к разным точкам. Выяснение условий равновесия тел под действием нескольких сил, приложенных к разным точкам, начнем с рассмотрения условий равновесия рычага. **Рычагом** называется твердое тело, вращающееся вокруг неподвижной опоры.

Примерами рычагов могут служить весло лодки, педаль велосипеда, дверь на петлях.

При действии силы, вектор которой лежит на прямой, проходящей через ось вращения рычага, со стороны неподвижной оси на тело действует сила, равная по модулю и противоположная по направлению. Равнодействующая этих двух сил равна нулю, рычаг не движется (рис. 14.1).

Если вектор силы не проходит через ось вращения, то под действием этой силы рычаг вращается вокруг оси (рис. 14.2).

Все практические применения рычагов относятся к случаям действия на рычаг двух сил, которые по отдельности врачают его в противоположных направлениях. Выполнение условия равновесия возможно при двух вариантах расположения этих сил относительно оси вращения рычага.

Если точки приложения сил находятся по разные стороны относительно оси вращения (рис. 14.3), то рычаг называют **рычагом 1-го рода**.

Если точки приложения сил находятся по одну сторону относительно оси вращения (рис. 14.4), то рычаг называют **рычагом 2-го рода**.



Рис. 14.2

● Экспериментальное задание 14.1

Работаем самостоятельно

Изучение условия равновесия тела, имеющего ось вращения

Оборудование: рычаг, штатив, измерительная линейка, динамометр, груз.

Исследуйте с помощью груза и динамометра условие равновесия рычага под действием двух параллельных сил.

Порядок выполнения задания

1. Установите на столе штатив, закрепите ось, наденьте рычаг на ось. Если ось проходит через отверстие в середине рычага, то он находится в равновесии.

2. Измерьте с помощью динамометра вес F_1 груза и запишите результат в таблицу.

3. Прикрепите груз с одной стороны рычага на некотором расстоянии l_1 от оси вращения, измерьте это расстояние и запишите результат в таблицу.

4. Прикрепите крючок динамометра к рычагу на некотором расстоянии l_2 от оси (см. рис. 14.4). Потяните динамо-

метр вертикально вверх до восстановления равновесия рычага и отсчитайте показания F_2 динамометра. Запишите результаты измерений расстояния l_2 и силы F_2 в таблицу.

5. Измените расстояние l_1 и повторите измерения силы F_2 в состоянии равновесия. Результаты измерений запишите в таблицу.

6. Измените вес F_1 груза и повторите измерения силы F_2 в состоянии равновесия. Результаты измерений запишите в таблицу.

Таблица 14.1

Nº	п/п	F_1 , Н	l_1 , см	F_2 , Н	l_2 , см	$F_1 l_1$	$F_2 l_2$
1							
2							
3							

7. Вычислите произведения $F_1 l_1$ и $F_2 l_2$ и сравните значения, полученные в трёх опытах. Сделайте вывод, при каких условиях рычаг находится в равновесии.

Условие равновесия рычага под действием двух параллельных сил. На основании выполненных экспериментов можно сделать следующий вывод для случая действия на рычаг двух сил, вращающих его вокруг неподвижной оси в противоположных направлениях. Если точки приложения этих сил находятся на одной прямой, проходящей через ось вращения, а векторы сил параллельны друг другу, то

рычаг находится в равновесии при равенстве произведений модулей этих сил на расстояния от точек их приложения до оси вращения:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Задача 14.1. В опыте по изучению условий равновесия рычага (см. рис. 14.4) показания динамометра при условии равновесия рычага были равны 1,75 Н, расстояние от точки крепления динамометра к рычагу до оси вращения рычага 12 см. Чему равен вес груза, если расстояние от точки его крепления к рычагу до оси вращения рычага равно 20 см?

Задача 14.2. Груз весом 5 Н подвешен на расстоянии 12 см от оси вращения рычага. На каком расстоянии по другую сторону от оси вращения нужно подвесить груз весом 10 Н для равновесия рычага (см. рис. 14.3)?

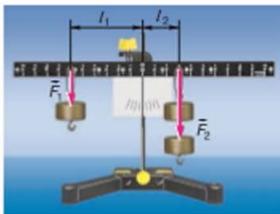


Рис. 14.3

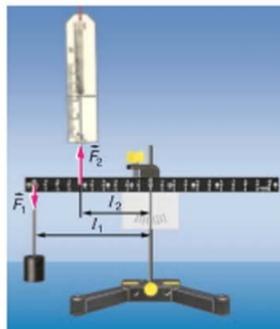


Рис. 14.4

?	Вопросы
1.	Какого рода рычаг представлен на рисунке 14.3? Как вы это определили?
2.	Какого рода рычаг представлен на рисунке 14.4? Как вы это определили?

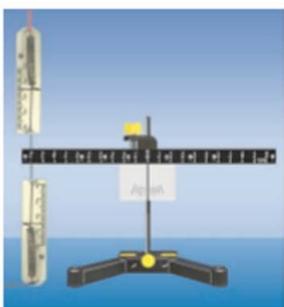


Рис. 14.5

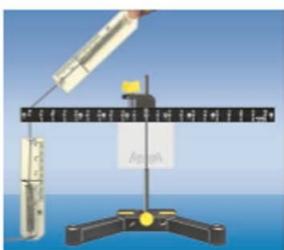


Рис. 14.6

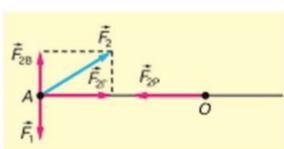


Рис. 14.7

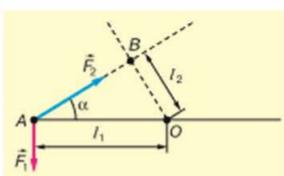


Рис. 14.8

Правило рычага. В нашем эксперименте мы выяснили условия равновесия рычага под действием двух сил, параллельных одной прямой. Но на практике часто встречаются случаи действия на рычаг сил разных направлений. Выясним условия равновесия рычага в таких случаях экспериментальным путём.

К одной точке рычага, имеющего горизонтальную ось вращения, прикрепим два динамометра. Один динамометр будем поднимать вертикально вверх, другой — тянуть вниз до установления равновесия. Опыт доказывает, что показания динамометров при этом одинаковы, как и следует из результатов ранее выполненных опытов (рис. 14.5).

Изменим условия опыта. Точку прикрепления динамометров оставим общей, но направление действия одной из сил изменим. Динамометр, расположенный снизу рычага, будем тянуть вертикально вниз, а верхний динамометр будем тянуть вверх под некоторым углом α к прямой, соединяющей точку приложения силы с осью вращения рычага (рис. 14.6).

Опыт показывает, что в этом случае в состоянии равновесия рычага значение силы \vec{F}_2 , тянувшей рычаг вверх, превышает значение силы \vec{F}_1 , тянувшей рычаг вниз.

Тот факт, что действие на рычаг силы \vec{F}_2 может быть компенсировано действием силы \vec{F}_1 , приложенной к той же точке рычага и обладающей меньшим модулем, можно объяснить, рассмотрев схему на рисунке 14.7.

Вектор силы \vec{F}_2 можно рассматривать как равнодействующую двух векторов сил \vec{F}_{2a} и \vec{F}_{2b} , направленных соответственно перпендикулярно и параллельно отрезку AO . Действие вектора силы \vec{F}_{2a} компенсируется равным по модулю противодействием силы упругости \vec{F}_{2p} со стороны оси рычага, а действие вектора силы \vec{F}_{2b} компенсируется равным по модулю противодействием силы \vec{F}_1 .

Попробуем найти более общее правило равновесия рычага. Для этого сначала запишем показания \vec{F}_1 и \vec{F}_2 динамометров в положении равновесия рычага. Затем отметим на листе бумаги тремя точками угол α между вектором силы \vec{F}_2 и рычагом. После этого начертим на доске схему расположения рычага и векторов действующих на него сил. На этой схеме проведём прямую, на которой лежит вектор силы \vec{F}_2 . Эту прямую называют **линией действия силы**. Опустим на линию действия силы \vec{F}_2 перпендикуляр из точки O , которой отмечено положение неподвижной оси рычага. Точку пересечения этого перпендикуляра с линией действия силы \vec{F}_2 обозначим буквой B (рис. 14.8).

Расстояние OB по перпендикуляру от оси вращения рычага до линии действия силы называется **плечом силы**.

Измерим расстояния l_1 и l_2 , затем вычислим произведения модуля силы F_1 на плечо l_1 и модуля силы F_2 на плечо l_2 . Эти произведения $M_1 = F_1 l_1$ и $M_2 = F_2 l_2$ называются **моментами силы** относительно оси вращения рычага. Вычисления показывают, что моменты сил M_1 и M_2 в случае равновесия рычага оказываются равными по модулю.

Принято считать момент силы, вызывающий вращение рычага в одном направлении, положительным, а вызываю-

ший вращение рычага в противоположном направлении, отрицательным. При таком условии **правило равновесия рычага** для случая действия на него двух произвольно направленных сил, векторы которых лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения рычага, формулируется так:

рычаг находится в равновесии, если сумма моментов двух действующих на него сил равна нулю:

$$M_1 + M_2 = 0.$$

Условия равновесия тела под действием нескольких сил. Условия равновесия рычага для случая действия двух сил обобщаются для случая действия нескольких сил: **рычаг находится в равновесии, если сумма моментов всех действующих на него сил равна нулю:**

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

Любое твёрдое тело можно рассматривать как рычаг, способный вращаться вокруг множества осей. Поэтому **твёрдое тело находится в равновесии, если равнодействующая всех приложенных к нему сил равна нулю и сумма моментов всех сил равна нулю:**

$$F_1 + F_2 + \dots + F_n = 0, \quad M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0.$$

Задача 14.3. На рисунке 14.9 представлена схема устройства башенного крана. С помощью этого крана нужно поднять груз массой 5 т. Плечо I_1 силы тяжести \vec{F}_1 этого груза равно 15 м. Масса стрелы крана 3 т. Плечо I_2 силы тяжести \vec{F}_2 стрелы крана равно 5 м. Каким должно быть плечо I_3 силы тяжести \vec{F}_3 груза-противовеса массой 10 т для равновесия крана?

Вопросы

- Что называется плечом силы?
- Что называется моментом силы?
- Сформулируйте правило равновесия рычага для случая действия на него двух сил, векторы которых лежат в плоскости, перпендикулярной оси вращения рычага.
- Сформулируйте условия равновесия рычага в случае действия на него нескольких сил.

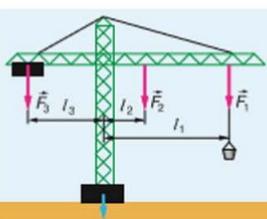


Рис. 14.9

Пример решения задачи

Задача. По условию задачи 14.1 вычислите моменты сил F_1 и F_2 и сумму моментов этих сил.

Решение:

Так как рычаг, изображённый на рисунке 14.4, находится в равновесии, а силы F_1 и F_2 параллельны, то произведение силы F_1 , вращающей рычаг против часовой стрелки, на плечо I_1 этой силы равно произведению силы F_2 , вращающей рычаг по часовой стрелке, на плечо I_2 этой силы:

$$\begin{aligned} F_1 \cdot I_1 &= F_2 \cdot I_2, \\ 1,75 \text{ Н} \cdot 0,12 \text{ м} &= F_1 \cdot 0,2 \text{ м}, \\ F_1 &= 1,05 \text{ Н}. \end{aligned}$$

Найдём моменты сил F_1 и F_2 :

$$\begin{aligned} M_1 &= F_1 \cdot I_1 = 1,05 \text{ Н} \cdot 0,2 \text{ м} = 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м}, \\ M_2 &= F_2 \cdot I_2 = -1,75 \text{ Н} \cdot 0,12 \text{ м} = -0,21 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Найдём сумму моментов сил F_1 и F_2 :

$$M_1 + M_2 = 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м} - 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0.$$

Ответ: $M_1 = 0,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_2 = -0,21 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $M_1 + M_2 = 0$.

Домашнее экспериментальное задание 14.2

Рассмотрите устройство ножниц. Определите, какого рода рычаги используются в ножницах.

Вопрос

Какое свойство рычага широко применяется в повседневной жизни? Приведите примеры применения рычага.

§15. Центр тяжести тела

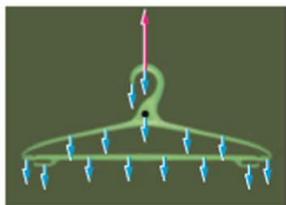


Рис. 15.1

Равнодействующая параллельных сил. Сила притяжения Земли действует на каждую частицу любого тела. Если размеры тела малы по сравнению с размерами Земли, то все векторы сил тяжести, действующие на отдельные частицы тела, параллельны друг другу (рис. 15.1).

Мы экспериментально выяснили (см. § 13), что несколько сил, приложенных к одной точке или лежащих на прямых, пересекающихся в одной точке, можно заменить одной силой, приложенной к той же точке и оказывающей на тело такое же действие. Эту силу назвали равнодействующей силой и для её нахождения установили опытным путём правило сложения векторов сил. Теперь нам надо узнать, существует ли равнодействующая параллельных сил земного тяготения, и если существует, то к какой точке тела она приложена.

То, что равнодействующая сила тяжести существует, можно обнаружить на простом опыте. Любое тело можно подвесить на нити, трюсе или крючке, и оно будет находиться в покое. Кроме большого числа параллельных векторов сил тяготения, приложенных к разным точкам тела, к телу приложена ещё одна сила — сила упругости, действующая на тело в точке подвеса и направленная вертикально вверх (см. рис. 15.1).

Тело неподвижно, значит, сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ уравновешивает действие всех сил тяжести, приложенных к отдельным точкам тела. А действие на тело силы упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, может быть уравновешено действием одной силы \vec{F}_p , равной по модулю силе упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, лежащей с вектором силы упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ на одной прямой, но направленной в противоположную сторону (рис. 15.2). Сила \vec{F}_p является равнодействующей параллельных сил тяготения, действующих на все частицы тела.

Для измерения равнодействующей сил тяжести нужно подвесить тело на крючок динамометра.

Определение положения центра тяжести. Найдём способ определения положения точки O приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на все точки тела. Эту точку называют **центром тяжести** тела. Обратите внимание на то, что эта точка может не совпадать ни с одной из точек тела.

Точку приложения равнодействующей сил гравитационного притяжения можно определить на основании двух опытов, подвешивая тело в двух разных точках. В первом опыте сила упругости в точке подвеса уравновешивается равнодействующей всех сил тяжести, направленной вертикально вниз. Точка приложения равнодействующей сил тяжести находится на вертикальной прямой, проходящей через точку подвеса (рис. 15.3).

Изменив точку подвеса, повторим опыт. И в этом опыте точка приложения равнодействующей сил тяжести находится на вертикальной прямой, проходящей через новую точку подвеса. Отсюда можно сделать вывод, что точка приложения равнодействующей сил тяжести находится в точке пересечения двух прямых, прове-

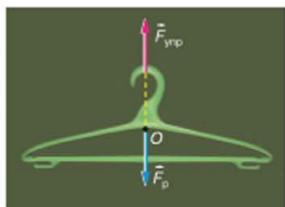


Рис. 15.2



Рис. 15.3

дённых вертикально вниз от точек подвеса. Эти прямые в каждом опыте определяются с помощью отвеса (рис. 15.4).

● Экспериментальное задание 15.1

Работаем самостоятельно

Нахождение центра тяжести тела

Оборудование: картонная пластина с тремя отверстиями, штатив, стержень, отвес, карандаш.

Найдите положение центра тяжести картонной пластины.

Порядок выполнения задания

1. Наденьте картонную пластину любым отверстием на стержень. На тот же стержень подвесьте отвес (см. рис. 15.3).

Отметьте на пластине точку пересечения отвеса и края пластины. Снимите пластину и проведите карандашом прямую через отмеченную точку и точку подвеса.

2. Повторите опыт, надев пластину на стержень другим отверстием (см. рис. 15.4). На пересечении двух прямых отметьте центр тяжести пластины точкой O .

3. Проведите контрольный опыт, используя для подвеса пластины третье отверстие. Отвес должен проходить через найденный центр тяжести (рис. 15.5).



Рис. 15.5



Рис. 15.4



Творческое задание 15.3

Докажите экспериментально, что центр тяжести может не совпадать ни с одной из точек тела.

Приведите примеры таких тел.



Вопросы

- Что называется центром тяжести тела?
- Почему пластина, подвешенная на стержне, находится в состоянии покоя?
- Какие силы действуют на подвешенную пластину в положении равновесия?
- Что произойдет, если в пластине сделать отверстие в месте расположения центра тяжести и подвесить пластину на стержне, вставленном в это отверстие?

● Экспериментальное задание 15.2

Работаем самостоятельно

Определение массы линейки

Оборудование: линейка, гиря массой 20 г, карандаш. С помощью имеющегося оборудования определите массу линейки.

@ Найдите

<http://class-fisika.narod.ru/van11.htm> (О ваньке-встаньке, центре тяжести и сохранении равновесия.)

Виды равновесия тел. Выясним условия равновесия тел под действием силы тяжести и каких-то других сил. Твёрдое тело находится в равновесии: 1) если равнодействующая всех сил равна по модулю силе тяжести и направлена противоположно ей; 2) если сумма моментов всех других сил относительно любой оси вращения равна по модулю моменту силы тяжести и имеет противоположный знак.

Применим этот вывод к однородному шару, находящемуся на горизонтальной поверхности. Силу тяжести можно считать приложенной к центру шара, где находится его центр тяжести. Под действием этой силы происходит деформация тела, на поверхности которого находится шар. Деформация продолжается до тех пор, пока сила упругости не станет равной по модулю силе тяжести. Сила тяжести и сила упругости лежат на одной прямой, равны по модулю и направлены противоположно друг другу, поэтому их равнодействующая равна нулю и сумма моментов этих сил относительно любой оси равна нулю. Шар находится в состоянии равновесия. Такой же результат мы получим для тела любой формы в том случае, если вертикальная прямая, проведённая через центр тяжести тела, пересекает горизонтальную поверхность опоры в пределах площади опоры тела (рис. 15.6).

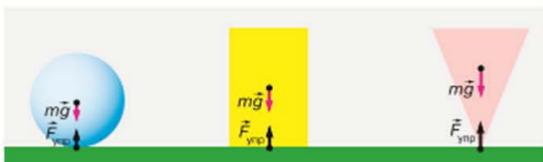


Рис. 15.6

Если вертикальная прямая, проведённая через центр тяжести тела, пересекает горизонтальную поверхность опоры за пределами площади опоры тела, то равнодействующая сил тяжести и упругости остаётся равной нулю, но сумма моментов этих сил оказывается отличной от нуля. Например, если у наклонной призмы вертикальная прямая из центра тяжести проходит за пределами её площади опоры, то момент силы тяжести mg относительно оси на краю призмы отличен от нуля (рис. 15.7), поэтому призма вращается и падает.

Общие условия равновесия тел под действием силы тяжести не объясняют некоторые последствия выведения этих тел из состояния равновесия кратковременным внешним воздействием. Например, на горизонтальной поверхности в состоянии равновесия находятся шар, прямоугольный бруск и конус, стоящий на своей вершине, как показано на рисунке 15.6, и на каждое из этих тел кратковременно действует сила \vec{F} , направленная перпендикулярно вектору силы тяжести (рис. 15.8). Действие этой силы вызывает небольшое смещение каждого из трёх тел из



Рис. 15.7

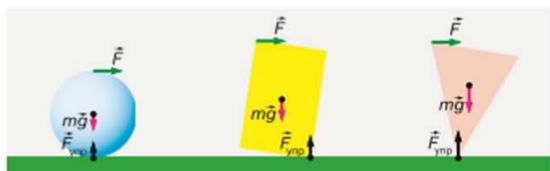


Рис. 15.8

первоначального положения равновесия. При этом для бруска и конуса условие равновесия перестает выполняться, так как момент силы тяжести относительно оси, проходящей через точку приложения силы упругости, в новых положениях отличен от нуля, а момент силы упругости равен нулю. Шар в новом положении остается в состоянии равновесия. Под действием момента силы тяжести прямоугольный брусок возвращается в исходное положение равновесия, а конус удаляется от положения равновесия.

Состояние равновесия, при котором небольшое отклонение тела от положения равновесия в любую сторону вызывает появление сил, возвращающих тело в исходное положение, называется **устойчивым равновесием** (положение бруска). Состояние равновесия, при котором небольшое отклонение тела от положения равновесия в любую сторону вызывает появление сил, способствующих удалению от положения равновесия, называется **неустойчивым равновесием** (положение конуса на вершине). Если смещение тела не приводит к возникновению сил, препятствующих этому смещению или усиливающих его, как у шара, находящегося на горизонтальной поверхности, то равновесие тела называют **безразличным**.

Обеспечение устойчивого равновесия является обязательным условием при проектировании зданий и других инженерных сооружений. При этом требуется учитывать действие ветра, возможных толчков во время землетрясений.

Задача 15.1. На рисунке 15.9 представлена фотография игрушки, которую называют «валька-встанька» или «неваляшка». После наклона эта игрушка сама возвращается в исходное положение устойчивого равновесия. Объясните, почему так происходит.

Задача 15.2. На рисунке 15.10 представлена фотография игрушки с замечательным свойством: «орёл» способен находиться в состоянии устойчивого равновесия, опираясь только кончиком клюва на конец карандаша. Объясните такую устойчивость «орла».

Задача 15.3. Как можно заставить карандаш стоять устойчиво на кончике грифеля, используя этот карандаш и перочинный нож (рис. 15.11)?

Вопросы

- Сформулируйте условие равновесия тела, находящегося под действием силы тяжести.
- Какое равновесие называют устойчивым?
- Какое равновесие называют неустойчивым?
- Приведите примеры устойчивого равновесия и неустойчивого равновесия.



Рис. 15.9



Рис. 15.10



Рис. 15.11

§16. Давление



Блез Паскаль

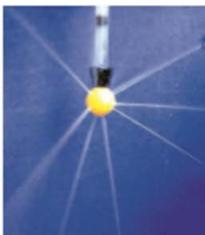


Рис. 16.2

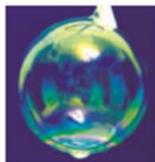


Рис. 16.3

Вопросы

- Что называется давлением?
- В каких единицах выражается давление?
- Каков принцип действия гидравлического пресса?
- Почему вода поднимается вверх в трубах водопровода?

Давление твёрдых тел. Почему человек на лыжах может двигаться по глубокому снегу, лишь слегка проравливая его, а без лыж проваливается в снег? Почему при сильном надавливании пальцем кожа руки не повреждается (рис. 16.1, а), а комар, сила которого значительно меньше, легко делает своим хоботком отверстие в коже человека и в стенке кровеносного сосуда (рис. 16.1, б)?



а)



б)

Рис. 16.1

На эти вопросы легко ответить, используя понятие **давление**.

Давлением называется физическая величина, равная отношению модуля силы F , действующей перпендикулярно поверхности, к площади S этой поверхности:

$$P = \frac{F}{S}.$$

В Международной системе единиц единица давления называется **пascal** (1 Па). Давление 1 Па создаётся равномерно распределённым по поверхности площадью 1 м² действием силы 1 Н, направленной перпендикулярно этой поверхности:

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/1 м}^2.$$

Давление жидкостей и газов. Выполним опыт с прибором, называемым **шаром Паскаля**. Он состоит из поршневого насоса, на конце которого закреплён шар с маленькими отверстиями. Наполним цилиндр насоса водой, опустим шар немного вниз и надавим на поршень. Хотя мы давим на воду в одном направлении (вниз), струи воды из шара разбрьзгиваются во все стороны (рис. 16.2).

Надувая резиновый шар или мыльный пузырь, мы видим, что газ передаёт давление не только в ту сторону, куда мы дуем, но и во все стороны. Мыльный пузырь расстигивается во все стороны одинаково (рис. 16.3).

На основании подобных опытов французский физик Блез Паскаль открыл закон, называемый **законом Паскаля**:

жидкости и газы передают оказываемое на них давление во всем направлениям одинаково.

Манометр. Для измерения давления в жидкостях и газах используют приборы, называемые **манометрами**. Самый простой манометр, называемый **водяным манометром**, состоит из стеклянной трубки в виде латинской буквы U (рис. 16.4). В установленные вертикально трубы наливается вода до нулевого деления шкалы. Уровень воды в трубках манометра до начала измерения находится на одинаковой высоте.

Для измерения давления газа в каком-либо сосуде на правую трубку манометра надевается один конец резиновой трубки, другой конец этой трубки соединяется с этим сосудом. Если давление газа в сосуде больше давления, оказываемого воздухом на воду в левой открытой трубке манометра, то уровень воды в правой трубке понижается, а в левой повышается. Равновесие наступает тогда, когда давление p_1 столба жидкости в левой трубке, находящегося на высоте h выше уровня воды в правой трубке, станет равным избыточному давлению p_2 в сосуде:

$$p_2 = p_1 = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho h Sg}{S} = \rho gh.$$



Рис. 16.4

Давление внутри жидкости. С помощью водяного манометра можно обнаружить, что жидкость оказывает давление не только на дно сосуда, но и на его боковые стенки и на любое тело, находящееся внутри жидкости. Для этого соединим манометр с датчиком давления. При нажатии пальцем на чувствительное основание датчика воздух передаёт давление на поверхность воды в правой трубке манометра, и уровень воды в ней понижается (см. рис. 16.4).

Опыты показывают, что давление p внутри жидкости на глубине h от её поверхности не зависит от расположения чувствительного основания датчика в пространстве. Вода оказывает на датчик одинаковое давление сверху вниз, снизу вверх и на вертикально расположенную поверхность или поверхность под любым другим углом к вертикали.

Способность жидкостей передавать оказываемое на них давление во всем направлениях приводит к тому, что давление p внутри жидкости на глубине h от её поверхности складывается из давления p_1 столба жидкости высотой h и внешнего давления p_2 , оказываемого на поверхность жидкости (рис. 16.5):

$$p = p_1 + p_2 = \rho gh + p_2.$$

В технике и быту обычно применяют стрелочные манометры. С помощью таких приборов измеряют кровяное давление человека (рис. 16.6), давление воздуха в шинах автомобилей.

Задача 16.1. Вычислите давление, оказываемое человеком на снег без лыж и на лыжах, для ответа на вопрос, почему снег меньше пропадает под лыжником. Вес человека 800 Н, площадь поверхности подошв его обуви 0,08 м², площадь поверхности лыж 0,5 м².



Рис. 16.5



Рис. 16.6

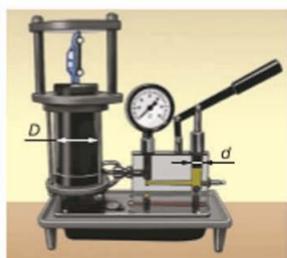


Рис. 16.7

Гидравлический пресс. Способность жидкостей передавать оказываемое на них давление по всем направлениям используется на практике в механизмах для получения выигрыша в силе. В гидравлическом прессе или домкрате два цилиндра с разными диаметрами D и d заполняют жидкостью и соединяют между собой трубкой (рис. 16.7). При действии на поршень в малом цилиндре силой F_1 на жидкость оказывается давление

$$p = \frac{F_1}{S_1},$$

где S_1 — площадь поршня в первом цилиндре. Жидкость передаёт такое же давление p на поршень площадью S_2 во втором цилиндре. Сила F_2 , действующая на второй цилиндр со стороны жидкости, равна:

$$F_2 = pS_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}.$$

Сила F_2 во столько раз больше силы F_1 , действующей на первый поршень, во сколько раз площадь S_2 второго поршня больше площади S_1 первого поршня.

Действуя небольшой силой на рукоятку гидравлического пресса, можно вызвать действие в десятки или даже в сотни раз большей силы со стороны жидкости на второй поршень. Эта сила может поднять автомобиль или вызвать деформацию тела, расположенного между поршнем и прочной плитой над ним.

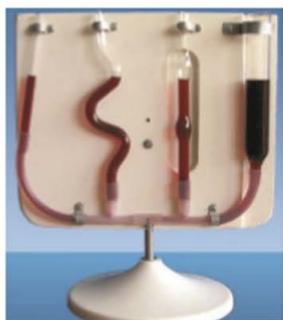


Рис. 16.8

Сообщающиеся сосуды. Способность жидкостей передавать оказываемое на них давление по всем направлениям приводит к тому, что в сообщающихся сосудах любой формы и размеров в состоянии покоя уровни одной жидкости находятся на одинаковой высоте (рис. 16.8). Одним из важных практических применений свойств сообщающихся сосудов является система городского водоснабжения с использованием водонапорной башни (рис. 16.9). В такой системе вода с помощью насосов накачивается в большой бак, расположенный на возвышенностях или в специально построенной высокой башне. Из бака вода по водопроводным трубам поступает в каждый дом и поднимается до верхнего этажа.

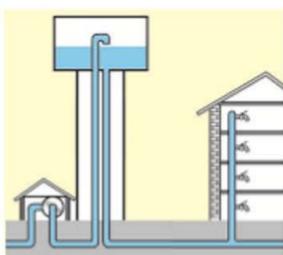


Рис. 16.9

Экспериментальное задание 16.1

Работаем самостоятельно

Оценка давления, создаваемого иглой при прокалывании листа бумаги

Оборудование: игла, миллиметровая бумага, набор гирь, лупа, две катушки.

Оцените давление, создаваемое кончиком иглы при прокалывании листа бумаги.

Порядок выполнения задания

Оценкой называют приблизительное вычисление какой-либо физической величины в тех случаях, когда невозможно выполнить точные измерения. Для оценки давления острия иглы нужно измерить силу, с какой игла действует на бумагу, и площадь поверхности острия иглы.

Площадь поверхности острия можно оценить несколькими способами. Самый простой из них — сделать иглой очень маленькое отверстие в миллиметровой бумаге и, разглядывая его через лупу, оценить диаметр отверстия, сравнивая его с размерами миллиметровой клетки.

Для оценки минимального значения силы, достаточной для прокалывания бумаги, можно собрать экспериментальную установку из двух катушек, между которыми кладут лист бумаги (рис. 16.10).

Нижняя катушка нужна для того, чтобы под бумагой в месте расположения острия иглы ничто не мешало прохождению иглы. Верхняя катушка нужна для того, чтобы удерживать иглу примерно в вертикальном положении. Длину иглы нужно выбрать такой, чтобы её верхний конец был выше катушки на 1–2 мм. На этот верхний конец иглы можно ставить гирю, увеличивая массу гири до тех пор, пока действие силы веса гири станет достаточным для прокалывания отверстия в бумаге (рис. 16.11).

Разделив вес гири в ньютонах на площадь поверхности кончика острия в метрах в квадрате, получим давление кончика иглы на бумагу в паскалях:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}.$$



Рис. 16.10



Рис. 16.11

Задача 16.2. Оцените, какое давление может оказывать хоботком комара на кожу человека. Для расчётов примите диаметр его колющего инструмента примерно равным 0,01 мм, массу комара равной 5 мг. Так как комар жалит в любом положении, а не только сверху вниз, можно сделать вывод, что он крепко держится за кожу человека. Для оценки возможной силы нажима на хоботок предположим, что комар способен нажимать хоботком силой, в 5 раз превышающей свой вес.

Задача 16.3. В водяной манометре, в котором находилась вода, в правую трубку налили некоторое количество масла. По положению уровней воды, подкрашенной в розовый цвет, и масла (желтоватый цвет) в манометре (рис. 16.12) определите плотность масла. Плотность воды 1000 кг/м³.

Индивидуальное задание 16.1

Подготовьте сообщение о принципе действия прибора для измерения кровяного давления человека. Продемонстрируйте в классе применение этого прибора.



Рис. 16.12

§17. Закон Архимеда



Рис. 17.1

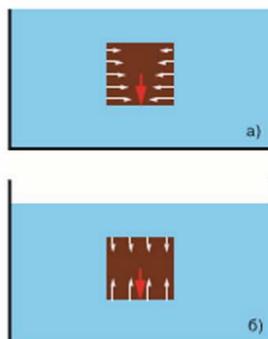


Рис. 17.2

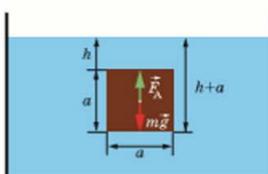


Рис. 17.3

Почему лёгкая монета тонет в воде, а более тяжёлый деревянный кубик плавает (рис. 17.1)? Почему алюминиевая ложка тонет в воде, а гораздо более тяжёлая алюминиевая лодка даже с большим грузом не тонет?

На такие вопросы первым ответил древнегреческий учёный Архимед, и открытый им закон природы называли **законом Архимеда**. Сегодня каждый сможет самостоятельно вывести этот закон как следствие из закона Паскаля.

Рассмотрим такую задачу. Внутрь жидкости плотностью ρ_1 помещён куб из вещества плотностью ρ_2 . Этот куб будет всплывать или тонуть?

Чтобы ответить на этот вопрос, найдём равнодействующую всех приложенных к кубу сил. На куб действуют сила тяжести mg , направленная вертикально вниз, и силы давления жидкости на все шесть граней куба, направленные перпендикулярно их поверхностям. Силы давления со стороны жидкости в каждой точке зависят от расстояния до поверхности жидкости. На глубине h в жидкости плотностью ρ давление равно:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho g h S}{S} = \rho g h.$$

Силы давления на боковые грани куба уравновешивают друг друга (рис. 17.2, а). Но сила давления F_1 на нижнюю грань больше силы давления F_2 на верхнюю грань (рис. 17.2, б), поэтому равнодействующая сил давления жидкости на куб отлична от нуля и направлена вертикально вверх (рис. 17.3).

Равнодействующая \vec{F}_A сил давления на верхнюю и нижнюю грани куба с ребром a внутри жидкости равна:

$$\vec{F}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2, \quad F_A = F_1 - F_2,$$
$$F_A = \rho_1 a^2 - \rho_2 a^2 = \rho_1 (h + a) a^2 - \rho_2 g h a^2 = \rho_1 g a^3,$$

где a^3 — объём куба; $\rho_1 a^3$ — масса жидкости, вытесненной кубом; $\rho_1 g a^3$ — вес вытесненной жидкости.

Мы получили, что на погруженный в жидкость куб действует выталкивающая сила, равная весу жидкости, вытесненной кубом. Эту силу называют **силой Архимеда**. Такой же результат получается для тел любой формы, погруженных в жидкость или газ. Поэтому закон Архимеда формулируется так:

на погруженное в жидкость или газ тело действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной жидкости или газа.

$$F_A = \rho Vg.$$

На основе закона Архимеда можно найти ответ на вопрос, будет ли всплывать или тонуть тело из вещества плотностью ρ_2 в жидкости плотностью ρ_1 . Для всплытия тела сила Архимеда F_A должна быть по модулю больше силы тяжести mg тела:

$$F_A > mg, \quad \rho_1 Vg > \rho_2 Vg, \quad \rho_1 > \rho_2.$$

Если плотность ρ_2 вещества тела меньше плотности ρ_1 жидкости, то равнодействующая сила направлена вверх — тело всплыивает.

Тело плавает на поверхности жидкости, когда равнодействующая силы тяжести тела и силы Архимеда равна нулю, т. е. при равенстве этих сил по модулю. Это условие выполняется, когда тело погружено в жидкость настолько, что вес вытесненной им жидкости равен силе тяжести тела. Поэтому из стали, плотность которой значительно больше плотности воды, можно изготовить корабль, не тонущий в воде и способный перевозить тысячи тонн грузов. Корпус большого корабля, изготовленный из тонких листов стали, при спуске на воду, погрузившись лишь на малую часть своего объема, вытесняет объем воды весом, равным весу корабля (рис. 17.4).

Если разделить массу корабля вместе с грузом на весь его объем, ограниченный стенками корпуса корабля, то средняя плотность вещества окажется значительно меньше плотности воды, так как большая часть объема корабля заполнена воздухом. Так что корабль, корпус которого изготовлен из стали, плавает в соответствии с законом Архимеда.

Если плотность ρ_2 вещества тела больше плотности ρ_1 жидкости, то сила тяжести тела больше силы Архимеда, равнодействующая сила направлена вниз — тело тонет.

Задача 17.1. Для измерения плотностей жидкостей изготовлен прибор в виде стеклянной пробирки. Пробирка частично заполнена песком для того, чтобы в жидкости она плавала в вертикальном положении. В воде пробирка плавает при погружении в воду на 9 см, в неизвестной жидкости глубина погружения равна 10 см. Чему равна плотность этой жидкости?

Задача 17.2. На одной чаше чувствительных равноплечих весов находится деревянный брускок, на другой — стальная гири массой 1 кг. При взвешивании в воздухе наблюдается равновесие. Чему равна масса деревянного бруска? Плотность дерева 880 кг/m^3 , плотность стали 7900 кг/m^3 , плотность воздуха $1,2 \text{ кг/m}^3$.

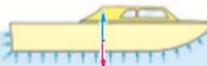


Рис. 17.4

**Найдите**

http://class-fisika.narod.ru/7_class.htm (Архимедова сила. Легенда об Архимеде.)

**Вопросы**

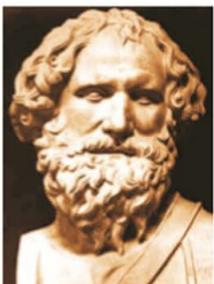
- Сформулируйте закон Архимеда.
- Равна ли архимедова сила весу тела, плавающего на поверхности воды?
- Равна ли архимедова сила весу тела, которое тонет в воде?
- Увеличивается ли сила Архимеда, действующая на тело, находящееся под водой, с увеличением глубины погружения?

Экспериментальное задание 17.1**Работаем в группе****Определение архимедовой силы**

Оборудование: измерительный цилиндр, динамометр, алюминиевый цилиндр.

Рассчитайте значение архимедовой силы, действующей на алюминиевый цилиндр при полном его погружении в воду. Определите значение этой силы экспериментально и сравните расчётное и экспериментальное значения.

Одни учащиеся рассчитывают силу Архимеда F_A по формуле, другие находят экспериментально.



Архимед

Открытие Архимеда. Об истории открытия Архимеда римский инженер Витрувий рассказал следующее: «Во время царствования Гиерона в Сиракузах этот царь, окончив благополучно одно очень важное для него дело, возымел намерение принести в жертву богам одного из храмов золотой венец. Царь заказал мастеру за большую цену сделать этот венец и дал ему золото на вес. Мастер представил свою работу, которая очень понравилась царю, и венец оказался по весу точно равным весу выданного золота. Однако вскоре возникли подозрения, что мастер украл часть золота и добавил серебра. Царь был сильно разгневан возможным обманом, но не знал, каким способом уличить мастера в краже. Он просил Архимеда постараться найти такой способ. Однажды Архимед, находясь в ванне и размышляя об этом, случайно заметил, что по мере погружения его в ванну вода выступала через край. Это обстоятельство открыло Архимеду способ, который он искал. Не медля, в чрезвычайной радости Архимед выскочил из ванны и, забыв об одежде, побежал к своему дому, крича: «Эврика!», что по-гречески значит «Нашёл!».

Рассказывают, что после этого открытия Архимед知道了 два слитка, каждый такого же веса, какой имел венец, но один слиток из золота, а другой из серебра. Сначала он погрузил в сосуд, наполненный водой, серебряный слиток, который по мере погружения вытеснил некоторое количество воды соразмерно своему объёму. Измерив количество воды, вышедшей из сосуда, он узнал, какое количество воды соответствует слитку серебра известного веса. После этого он погрузил в сосуд, доверху наполненный водой, слиток золота, вынул его, измерил количество вытекшей воды и нашёл, что слиток золота вытеснил воды меньше на столько, на сколько меньше объём золотого слитка против серебряного. Потом Архимед опять наполнил водой сосуд и погрузил туда венец, который вытеснил больше воды, чем при погружении слитка золота такого же веса, как венец. Таким образом, Архимед узнал, что в золотом было подмешано серебро, и ясно показал обман мастера».

Архимед не ограничился описанным экспериментом, а изобрёл точные весы, позволившие определить, сколько золота и сколько серебра содержится в венце, не нарушая его формы. Сравнивая вес слитков и вес венца в воде, Архимед мог найти относительное количество золота и серебра в венце (рис. 17.5).



Рис. 17.5



Прочитайте

Громов С. В. Энциклопедия элементарной физики. — М.: Просвещение, 2007. — С. 16—18.



Найдите

<http://www.class-fisika.narod.ru/etud1.htm> (Архимед. Этюды об учёных.)

Познакомившись с историей открытия знаменитого закона, теперь представьте себя на месте Архимеда и решите его задачу.

Задача 17.3. Масса венца 2 кг, массы золотого и серебряного слитков точно такие же. При погружении в воду золотой слиток вытеснил 207 см³ воды, серебряный слиток — 381 см³ воды, венец — 240,0 см³ воды. Сколько золота при изготовлении венца мастер заменил серебром?

Задача 17.4. Воздушный шар объёмом 300 м³ заполнен водородом. Масса оболочки шара и корзины 200 кг. Какой максимальный полезный груз может поднять воздушный шар? Плотность воздуха 1,2 кг/м³, плотность водорода 0,09 кг/м³.

Задача 17.5. На фотографии представлен кусок льда в форме цилиндра, плавающий в воде (рис. 17.6). С помощью этой фотографии определите приблизительно плотность льда. Вода заполняет стакан до краёв.



Рис. 17.6

● Домашнее экспериментальное задание 17.2

Изготовьте игрушку, известную под названием «картезианский водолаз». Для этого нужна пипетка для отмеривания жидкости по каплям и пластиковая бутылка.

Налейте в стакан воду и наберите в пипетку столько воды, чтобы она при опускании в воду плавала в вертикальном положении, но над водой оставалась лишь очень малая часть — не более 2—3 мм её резинового колпачка.

Перенесите пипетку в пластиковую бутылку, наполненную почти доверху водой. Завинтите бутылку крышкой (рис. 17.7, а).

Теперь выполните опыты. Сожмите пальцами бутылку с боков. При сжатии пипетка опускается вниз до dna бутылки (рис. 17.7, б). После прекращения сжатия пипетка всплывает. Объясните результаты этого опыта.

Данное изобретение продемонстрируйте своим родителям, братьям, сёстрам и друзьям. Объясните результаты этого опыта.



Рис. 17.7

● Экспериментальное задание 17.3

Работаем в группе

Измерение плотности вещества

Оборудование: стеклянный стакан с водой, пробирка, измерительная линейка, неизвестное вещество в виде небольших кусков.

Определите плотность неизвестного вещества в твёрдом состоянии.

Примечание: плотность воды равна 1000 кг/м³.

Составьте подробный алгоритм этого эксперимента. Запишите его в тетрадь.

● Найдите

<http://class-fisika.narod.ru/o45.htm> (Морской житель или картезианский водолаз.)

§18. Атмосферное давление

Опыты, требующие объяснения. Выполним несколько опытов и попробуем найти им объяснение. При переворачивании бутылки с водой под действием силы тяжести вода вытекает из бутылки (рис. 18.1). Опустим горлышко бутылки в сосуд с водой. Почему теперь вода не вытекает из бутылки (рис. 18.2)?

Налейм воду в стакан, положим сверху на стакан лист бумаги. Прижимая ладонью лист бумаги к стакану, перевернём стакан и уберём ладонь от листа бумаги. Вода не выливается из стакана (рис. 18.3). Как лист бумаги удерживает воду?



Рис. 18.4



Рис. 18.1



Рис. 18.2



Рис. 18.3

Возьмём прибор, состоящий из двух полусфер с резиновой прокладкой по месту соединения и с ниппелем для соединения с воздушным насосом. Соединим полусфера и будем выкачивать воздух из прибора. После выкачивания воздуха для разделения полушарий необходимо приложить большое усилие (рис. 18.4). Что мешает разделению полушарий?

Подобные опыты получили правильное объяснение только после открытия **атмосферного давления**.

Атмосферное давление. Газ состоит из таких же атомов и молекул, из каких образуются твёрдые и жидкие тела. Молекулы газа обладают массой, и на них действует сила тяжести со стороны Земли. Поэтому любое вещество в газообразном состоянии обладает весом.

У поверхности Земли воздух земной атмосферы своим весом давит на все тела. Давление атмосферного воздуха равно отношению веса столба воздуха над участком от поверхности Земли до границы земной атмосферы к площади S участка поверхности Земли. Давление атмосферного воздуха экспериментально обнаружил в XVII в. итальянский учёный Эванджелиста Торричелли.

Ртутный барометр. Прибор для измерения атмосферного давления, изобретённый Торричелли, называется **ртутным барометром**. Он состоит из стеклянной трубки, заполненной ртутью и опущенной открытым концом в сосуд с ртутью. Если трубка длиннее 76 см, то ртуть частично вытекает из неё и над ртутью в трубке образуется пустота.

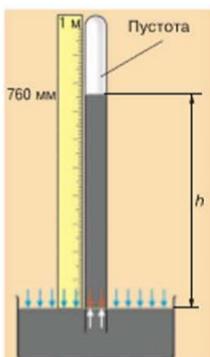


Рис. 18.5

тое пространство, поэтому давление на ртутный столб сверху равно нулю. Давление атмосферного воздуха на открытую поверхность ртути в сосуде по закону Паскаля передаётся по всем направлениям. В трубке на уровне поверхности ртути в сосуде давление равно атмосферному давлению p_0 , а сила давления направлена вверх (рис. 18.5).

Под действием этой силы ртуть в трубке поднимается вверх до высоты верхнего уровня h , равного примерно 760 мм. При таком уровне ртути направленная вверх сила давления p_0S уравновешивается силой тяжести mg столба ртути:

$$\begin{aligned} p_0S &= mg, \\ p_0S &= \rho gV = \rho ghS, \\ p_0 &= \rho gh. \end{aligned}$$

Значение атмосферного давления p_0 можно найти по измеренной высоте h столба ртути, плотности ρ ртути и ускорению свободного падения g . Давление, равное давлению столба ртути высотой 760 миллиметров (760 мм рт. ст.), называют в технике давлением в 1 атмосферу (1 атм).

Барометр-анероид. Для измерения атмосферного давления в повседневной жизни используется мембранный барометр, который называется **барометром-анероидом**. В таком барометре имеется небольшая пустая коробка 1, изготовленная из двух тонких упругих пластин-мембран (рис. 18.6). Так как внутри этой коробки пустота, давление внутри её равно нулю. Атмосферное давление воздуха сжимает коробку, но этому сжатию препятствует стальная пружина 2, оттягивающая одну пластину-мембрану от другой и уравновешивающая действие атмосферного давления. К мембрane через передаточный механизм присоединена стрелка 3 указателя, способная перемещаться относительно шкалы. При изменении атмосферного давления нарушается равновесие между действием сил атмосферного давления и пружины, изменяется прогиб мембран и положение стрелки барометра относительно шкалы.



Рис. 18.6

Задача 18.1. С какой приблизительно силой давит на вас атмосферный воздух? Как может человек выдерживать действие такой большой силы?

Задача 18.2. Оцените, на какой высоте кончалась бы земная атмосфера, если бы её плотность не изменялась с высотой и была равна $1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$.



Запомните

$$\begin{aligned} 1 \text{ атм} &= 760 \text{ мм рт. ст.} \approx \\ &\approx 13,5 \cdot 10^3 \cdot 9,8 \cdot 0,76 \text{ Па} \approx \\ &\approx 101\,325 \text{ Па} \approx 100 \text{ кПа} = \\ &= 1000 \text{ гПа.} \end{aligned}$$



Вопросы

1. Какие опыты доказывают существование атмосферного давления?
2. Какова причина существования атмосферного давления?
3. Как было открыто атмосферное давление?
4. Как устроены ртутный барометр и барометр-анероид?
5. В каких единицах выражается атмосферное давление?



Творческое задание 18.1

Работаем самостоятельно

Придумайте и выполните опыты, доказывающие существование атмосферного давления, с последующим коллективным обсуждением.



Рис. 18.7. Опыт Торричелли



Найдите

http://class-fisika.narod.ru/_davlatm.htm (Атмосферное давление.)



Рис. 18.8. Опыт Паскаля на горе Пюи-де-Дом

История открытия атмосферного давления. Большинство открытий в науке совершается тогда, когда создаются необходимые для них условия. Для открытия Америки необходим был корабль, способный пересечь океан, для открытия микробов необходимо было иметь микроскоп. Однако некоторые открытия происходят с запозданием. Например, для открытия атмосферного давления нужно знание фактов существования воздуха и весомости воздуха, известных древнегреческим учёным уже 2500 лет тому назад. Аристотель писал: «...за исключением огня, все элементы имеют тяжесть в своём собственном месте — даже воздух. Свидетельство тому: надутый мешок весит больше пустого». Аристотелю был известен и тот факт, что вода сама втягивается в накалённый на огне сосуд. Но подъём воды вверх в сосуд при удалении из него воздуха Аристотель считал следствием всеобщего свойства Природы: нигде в мире не может быть пустого пространства.

Даже Галилео Галилей в XVII в. не догадался о существовании атмосферного давления, хотя знал, что никакими насосами не удаётся поднять воду выше чем на 10 м от уровня её открытой поверхности. Получалось, что «боязнь пустоты» ограничена каким-то пределом, а далее либо кончается «боязнь», либо образуется пустота, которой в природе согласно взглядам Аристотеля быть не может.

Экспериментальное открытие атмосферного давления сделал в Италии ученик Галилея Эвандрелиста Торричелли в 1643 г. Он заполнил ртутью стеклянную трубку длиной около метра, запаянную с одного конца (рис. 18.7). Затем прикрыл пальцем открытый конец трубы и опустил его в чашку с ртутью. При убирании пальца ртуть в трубке опустилась и остановилась на уровне «...в один локоть с четвертью и ещё палец». Это соответствует 760 мм. Торричелли проделал серию опытов с сосудами различной формы и размеров, и во всех опытах высота уровня ртути в трубке оставалась одинаковой и равной 760 мм. На основании этих опытов Торричелли пришёл к следующему выводу: «До сих пор думали, что сила, которая удерживает живое серебро (ртуть) от его естественного стремления упасть вниз, обусловлена сосудом, или пустотой, или некоей весьма разреженной субстанцией, но я утверждаю, что она внешняя, что сила приходит извне. На поверхность жидкости в чашке давит тяжесть 50 миль воздуха. Поэтому что же удивительного, если внутри стекла, где ртуть не испытывает ни влечения, ни сопротивления, поскольку там ничего нет, она подымается до такого уровня, что уравновешивает тяжесть внешнего воздуха, оказываемого на неё давление». Торричелли пришёл к окончательному убеждению о существовании атмосферного давления после того, как обнаружил, что высота ртутного столба в трубке немного изменяется день ото дня, т. е. открыл изменение атмосферного давления.

Открытие атмосферного давления получило всеобщее признание после наглядных опытов Блеза Паскаля во Франции и Отто фон Герике в Германии. Паскаль сначала повторил опыты Торричелли с ртутью, затем выполнил опыты с трубками длиной около 12 м, заполненными водой и вином.

Для окончательного доказательства существования атмосферного давления Паскаль придумал эксперимент, рассуждая следующим образом. Если подъём ртутного столба в трубке действительно вызывается давлением атмосферного воздуха, то на вершине высокой горы, над которой остаётся меньший столб воздуха, давление должно быть меньше, чем у основания горы. Для проверки этой гипотезы Паскаль в 1648 г. измерил высоту ртутного столба в одной и той же трубке сначала у основания горы Пюи-де-Дом, затем на её вершине, на высоте около 1300 м (рис. 18.8). На вершине горы высота столба ртути оказалась на 8 см ниже, чем у основания. Так гипотеза Паскаля была подтверждена экспериментом.

Ото фон Герике спроектировал и изготовил ряд приборов и инструментов для исследования торричеллиевой пустоты. В одном из опытов он попытался получить пустоту, выкачивая воздух из медного шара. Однако шар вскоре с большим шумом скжился, как описывал Герике, «словно полотно, измятое в руке». Особенно большое впечатление на современников произвели опыты с магдебургскими полушариями, продемонстрированные в 1654 г. (Название полушария получили по названию города Магдебурга, в котором Герике был бургомистром.) Для этого опыта были изготовлены два прочных металлических полушария каждый диаметром около 50 см. Для плотного соединения в шар между ними прокладывалось кольцо из кожи, пропитанной раствором воска в склизидаре. В одном из полушарий был клапан, через который с помощью насоса из шара выкачивался воздух. После выкачивания воздуха из шара в кольца на полушариях было впряженено по 16 лошадей (рис. 18.9). И эти лошади не могли оторвать одно полушарие от другого. Этот опыт наглядно показывал, насколько велика сила атмосферного давления, прижимавшая одно полушарие к другому.



Эванджелиста Торричелли



Вопросы

- Что помешало Аристотелю открыть атмосферное давление на 2000 лет раньше Торричелли?
- Как из результатов опытов Торричелли можно сделать вывод о существовании атмосферного давления?
- Что нового об атмосферном давлении стало известно после опытов Паскаля?



Рис. 18.9

Конструкторское задание 18.3

Работаем в группе

Придумайте конструкцию водяного барометра и опишите способ измерения с его помощью атмосферного давления.

Домашнее экспериментальное задание 18.2

Работаем самостоятельно

Исследование зависимости атмосферного давления от высоты

Используя барометр-анероид, исследуйте зависимость атмосферного давления от высоты над уровнем моря.

§19. Сила трения

Сила трения покоя. Положим деревянный бруск на горизонтальную поверхность стола, прикрепим к нему крючок динамометра и потянем вдоль горизонтальной поверхности. При небольшом значении действующей силы упругости $\vec{F}_{\text{уп}}$ бруск остается неподвижным. Значит, возникает какая-то сила, равная по модулю силе упругости и направленная противоположно ей.

Сила, возникающая на границе соприкосновения тел при попытке перемещения одного тела по поверхности другого тела при отсутствии относительного движения тел, называется силой трения покоя $\vec{F}_{\text{тр.п}}$ (рис. 19.1).



Рис. 19.1

Как и сила упругости, сила трения покоя возникает только при внешнем воздействии на тело, равна по модулю действующей силе и направлена противоположно ей. Но сила упругости возникает при любом направлении действия внешней силы, а сила трения покоя возникает только при действии силы, проекция которой на плоскость, параллельную поверхности соприкосновения тел, отлична от нуля.

Из-за силы трения покоя предметы неподвижны на земной поверхности. Если бы это трение вдруг исчезло, все предметы и люди скользили бы по наклонным поверхностям, как движется вода, пока не достигнет уровня моря или озера.

В результате действия силы трения покоя возможно движение в нужном направлении по земной поверхности. Именно за счёт силы трения покоя человек может сделать шаг, оттолкнувшись от поверхности земли (рис. 19.2). Эта же сила позволяет автомобилю прийти в движение. Шина автомобиля в месте соприкосновения с дорогой неподвижна относительно земли, автомобиль при вращении колеса отталкивается от земной поверхности (рис. 19.3).

Сила трения скольжения. Продолжим опыт с бруском и динамометром. При достижении некоторого значения силы упругости $\vec{F}_{\text{уп}}$ бруск движется по горизонтальной поверхности равномерно и прямолинейно. В этом случае равнодействующая всех сил равна нулю. Следовательно, со стороны поверхности стола на бруск действует сила, равная по модулю силе упругости $\vec{F}_{\text{уп}}$, действующая со стороны динамометра, и направленная противоположно ей. Эта сила $\vec{F}_{\text{тр.ск}}$ называется силой трения скольжения. Она направлена вдоль поверхности соприкосновения тел противоположно вектору скорости \vec{v} относительно движения тел.

Коэффициент трения. Опыт показывает, что максимальная сила трения покоя и сила трения скольжения зависят от материала соприкасающихся поверхностей и от силы, с которой поверхности тел прижимаются друг к другу.

Сила \vec{N} , перпендикулярная поверхности соприкосновения тел, называется силой нормального давления. Отношение силы трения к силе нормального давления называется коэффициентом трения.

Коэффициент трения обозначается греческой буквой μ («мю»):

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}.$$



Рис. 19.3

● Экспериментальное задание 19.1

Работаем в паре

Исследование силы трения

Оборудование: деревянный брускок с крючками и резиновой наклейкой, динамометр, набор грузов.

I. Исследуйте зависимость силы трения при равномерном движении деревянного бруска по поверхности стола от площади поверхности соприкосновения тел.

Порядок выполнения задания

1. Положите деревянный брускок на стол гранью с меньшей площадью поверхности. Прикрепите к брускоку динамометр, потяните его параллельно поверхности стола и измерьте силу трения $F_{тр}$ при равномерном движении бруска (рис. 19.4). Запишите результат измерения.

2. Положите брускок на стол гранью с большей площадью поверхности (рис. 19.5) и повторите опыт по измерению силы трения $F_{тр}$ при равномерном движении бруска. Запишите результат измерения. Сделайте вывод, зависит ли сила трения $F_{тр}$ от площади поверхности соприкасающихся тел.

II. Исследуйте зависимость силы трения от материала соприкасающихся поверхностей.

Положите брускок на стол гранью с резиновой наклейкой и измерьте силу трения. Сравните полученное значение силы трения со значением, полученным при скольжении дерева по столу, и сделайте вывод.

III. Исследуйте зависимость силы трения скольжения от силы нормального давления.

1. Измерьте с помощью динамометра вес P деревянного бруска. Сила нормального давления N при движении бруска по горизонтальной поверхности стола равна по модулю весу P : $N = P$.

2. Измерьте силу трения $F_{тр}$ при равномерном скольжении бруска по горизонтальной поверхности стола.

3. Измерьте силу трения при равномерном движении по столу бруска с одним грузом (рис. 19.6). Сила нормального давления равна сумме веса бруска и веса груза: $N = P + P_1$.

4. Повторите измерения для случая равномерного движения по столу бруска с двумя грузами. В этом случае $N = P + 2P_1$.

5. Вычислите коэффициент трения для каждого измерения и запишите результаты в таблицу.

Таблица 19.1

N, H	$N = P$	$N = P + P_1$	$N = P + 2P_1$
$F_{тр}$			
μ			

6. Постройте график зависимости силы трения $F_{тр}$ от силы нормального давления N . Сделайте вывод о характере этой зависимости.



Рис. 19.4



Рис. 19.5



Рис. 19.6



Вопросы

1. Какое направление имеет сила трения при движении одного тела по поверхности другого?
2. От чего зависит сила трения?
3. От чего не зависит сила трения?
4. Что называется коэффициентом трения?

Природа силы трения. Какова причина возникновения сил трения? Первое почти очевидное предположение — трение обусловлено силами взаимного притяжения между атомами.

Эта гипотеза помогает дать ответы на ряд вопросов. Если между атомами твёрдого тела действуют силы притяжения, то почему две металлические пластинки, помещённые одна на другую, не соединяются в одну пластину вдвое большей толщины?

Найти ответ на этот вопрос оказывается довольно просто, если очень гладкую поверхность металлической пластины рассмотреть в микроскоп с большим увеличением. На фотографии, полученной с помощью микроскопа (рис. 19.7), видно, что поверхность покрыта выступами и впадинами, острыми вершинами. Поэтому пластины соприкасаются между собой не всей поверхностью, а лишь небольшой её частью. Силы межатомного притяжения действуют только между очень небольшим числом атомов и поэтому очень слабы.

Для перемещения одного тела по поверхности другого необходимо преодолеть силы межатомного притяжения на участках соприкосновения, которые тотчас начинают действовать на вновь возникших участках соприкосновения.

Увеличение силы трения с возрастанием силы нормального давления можно объяснить тем, что с возрастанием силы нормального давления увеличиваются поверхности соприкосновения тел и число межатомных связей. Поэтому с повышением качества обработки поверхностей тел сила трения должна возрастать. Однако на практике поверхности тел тщательно шлифуют и полируют для уменьшения силы трения. Как можно объяснить этот факт?

На схематическом разрезе поперёк поверхностей соприкосновения тел (рис. 19.8) видно, что выступы и впадины на соприкасающихся поверхностях при их относительном движении должны приводить к частичному разрушению трущихся поверхностей. На более гладких поверхностях при движении таких разрушений немного и сила трения уменьшается.

Трение качения. Силы трения скольжения препятствуют перемещению одних предметов по поверхностям других. Это свойство окружающего мира стало серьёзным препятствием для осуществления многих планов человека, когда он начал строить себе жилища и крепости, когда в поисках лучших мест обитания нужно было перемещаться на большие расстояния со всеми домашними вещами, оружием и запасами пищи. И тогда человек сделал одно из самых важных изобретений — колесо (рис. 19.9).

При качении колеса поверхность колеса не перемещается по поверхности земли, а происходят процессы соединения и разъединения различных участков поверхностей колеса и земли. Возникающая при этом сила сопротивления движению тела называется **силой трения качения**. В зависимости от радиуса колеса или цилиндра и типа соприкасающихся материалов сила трения качения может быть в несколько раз или даже в десятки раз меньше силы трения скольжения для того же самого тела. В этом



Рис. 19.7



Рис. 19.8

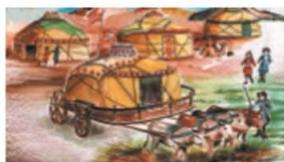


Рис. 19.9. Повозка кочевника времён Великого переселения народов

легко убедиться, измерив сначала силу трения скольжения цилиндра (рис. 19.10), а затем силу трения качения цилиндра (рис. 19.11).



Рис. 19.10



Рис. 19.11



Творческое задание 19.2

Работаем самостоятельно

Оборудование: несколько пар цилиндров различного радиуса, набор грузов, доска, динамометр.

Придумайте эксперименты, с помощью которых можно исследовать зависимость силы трения качения от радиуса колеса или катящегося цилиндра.

Жидкое трение. Для уменьшения действия сил трения при использовании различных транспортных средств вводят слой жидкости или газа между поверхностями твёрдых тел, скользящих друг по другу. Этот способ называется **смазкой**. Жидкая смазка между двумя твёрдыми поверхностями приводит к тому, что поверхности не со-прикасаются друг с другом, а скользят относительно жидкости. Скольжение по жидкости или движение внутри жидкости либо газа также вызывает возникновение силы, направленной противоположно вектору скорости. Эта сила называется **силой жидкого трения**.

Сила жидкого трения отличается от силы трения между твёрдыми поверхностями, во-первых, отсутствием силы трения покоя. Во-вторых, сила жидкого трения возрастает с увеличением скорости движения. Это ставит предел достижимой скорости движения морских кораблей и самолётов при определённой мощности двигателя.

Наилучшим способом борьбы с силой трения является одновременная замена трения скольжения на трение качения и применение жидкой смазки. Это можно сделать с помощью **шарикоподшипников**, надеваемых на оси вращающихся колёс, оси электродвигателей, электрогенераторов (рис. 19.12). В шарикоподшипнике имеются два стальных колыша, между которыми находятся стальные шарики. Между шариками и колышами вводится жидккая смазка. Силы трения качения шариков по смазанным поверхностям колец меньше сил трения скольжения в сотни раз.



Рис. 19.12. Шарикоподшипник



Вопросы

- Почему между соприкасающимися поверхностями тел возникают силы трения?
- Почему силы трения уменьшаются при шлифовке трущихся поверхностей?
- Почему сила трения качения много меньше силы трения скольжения?
- Как зависит сила трения качения от радиуса колеса или катящегося цилиндра и чем объясняется эта зависимость?
- Чем отличается сила жидкого трения от силы трения между поверхностями твёрдых тел?

§20. Энергия



Рис. 20.1

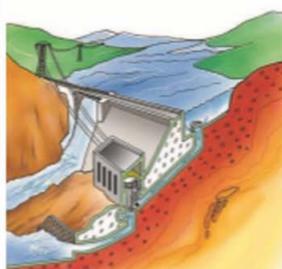


Рис. 20.2



Рис. 20.3

Энергия. В повседневной жизни часто можно слышать слово «энергия». Говорят о расходовании электроэнергии в квартире, об освобождении энергии при сжигании горючего в двигателе автомобиля, о превращениях энергии солнечного излучения в механическую энергию движения нагретого воздуха в атмосфере Земли и многих других проявлениях энергии. Что же называют словом «энергия»?

Наблюдения и опыты показывают, что любые изменения в природе происходят в виде передачи движения от одного тела к другому или в виде превращения одной формы движения в другую.

При столкновении движущегося шара с таким же неподвижным шаром первый шар останавливается, а второй шар приходит в движение с такой скоростью, с какой двигался первый шар. Механическое движение при столкновении шаров не исчезло, произошла лишь передача движения от одного тела к другому (см. рис. 8.4).

При падении стального шара на кусок пластилина, лежащего на столе, движение шара прекращается и пластилин остаётся неподвижным. Но механическое движение и в этом случае не исчезает бесследно. Термометр, вставленный в пластилин, показывает, что в результате удара шара температура пластилина повысилась (рис. 20.1). Механическое движение при этом взаимодействии не исчезло бесследно, а превратилось в другую форму движения, которое называется **тепловым движением**.

Механическое движение текущей воды на гидроэлектростанции (рис. 20.2) с помощью электрогенератора создаёт новую форму движения материи — **электрический ток**, а электрический ток с помощью электродвигателя вновь создаёт механическое движение или, нагревая нить лампы накаливания, создаёт свет. Механическое движение воздуха с помощью ветроэлектрогенераторов также создаёт электрический ток (рис. 20.3).

Способность к превращениям одних форм движения материи в другие показывает, что имеется какая-то единой мера различных форм движения материи, сохраняющаяся при любых превращениях одной формы движения в другую.

Физическая величина, являющаяся количественной мерой различных форм движения материи, называется **энергией**.

Для определения энергии как физической величины нужно установить связь энергии с другими величинами и найти способ её измерения.

Механическая энергия.

Механической энергией называют энергию механического движения и взаимодействия.

Рассмотрим самый простой пример превращения механической энергии — при свободном падении тел.

Потенциальная и кинетическая энергии. При свободном падении с некоторой высоты h происходит постепенное увеличение скорости движения тела. Это показывает, что поднятое над Землёй тело обладает запасом какой-то энергии, которая во время падения превращается в энергию поступательного движения. Энергия поднятого над Землёй тела называется **потенциальной энергией** тела в поле силы тяжести, а энергия поступательного движения тела называется **кинетической энергией**.

Если при свободном падении тела (рис. 20.4) происходит превращение его потенциальной энергии в кинетическую энергию, то уменьшение потенциальной энергии падающего тела за любой интервал времени должно быть равно увеличению его кинетической энергии. Выражения для потенциальной и кинетической энергий, удовлетворяющие этому требованию, в физике были найдены.

Потенциальная энергия E_u тела массой m на высоте h над Землёй равна:

$$E_u = mgh.$$

В этом выражении величина g обозначает изменение скорости свободного падения в единицу времени. У поверхности Земли $g \approx 9,8 \text{ м/с}^2$ за 1 с.

Кинетическая энергия E_k тела массой m при скорости движения v равна:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Единица энергии. Единица энергии в Международной системе единиц называется *джауль* (1 Дж). Название этой единицы дано в честь английского физика Джеймса Джоуля (1818–1889).

Из выражения для вычисления кинетической энергии следует, что тело массой 1 кг при движении со скоростью 1 м/с обладает кинетической энергией, равной

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ м}^2/\text{с}^2}{2} = 0,5 \text{ Дж.}$$

Потенциальная энергия E_u тела массой 1 кг на расстоянии 1 м от поверхности земли равна:

$$E_u = mgh = 1 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 \cdot 1 \text{ м} = 9,8 \text{ Дж.}$$

Задача 20.1. По известному значению массы своего тела вычислите потенциальную энергию тела на высоте 2 м от поверхности земли. Вычислите, какая кинетической энергией будет обладать ваше тело у поверхности земли при свободном падении с высоты 2 м.

Задача 20.2. Как изменится кинетическая энергия автомобиля при увеличении скорости его движения в 2 раза?

Задача 20.3. По дороге движутся легковой автомобиль и грузовик. Скорость легкового автомобиля в 2 раза больше скорости грузовика, а масса грузовика в 2 раза больше массы легкового автомобиля. Какой из этих автомобилей обладает большей кинетической энергией?

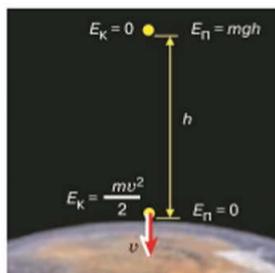


Рис. 20.4

Вопросы

- Что такое энергия?
- Что называется потенциальной энергией в поле силы тяжести?
- Что называется кинетической энергией тела?
- Как связаны между собой изменения потенциальной и кинетической энергий при свободном падении тела?

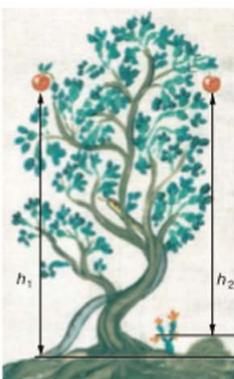


Рис. 20.5

Относительность потенциальной и кинетической энергий. При вычислении значения потенциальной энергии поднятого над Землёй тела возникает вопрос: какое расстояние h считать расстоянием от поверхности Земли? Например, на яблоне висят два яблока на одном горизонтальном уровне, но прямо под одним из этих яблок имеется небольшой холмик земли (рис. 20.5). Следует ли отсюда делать вывод, что холмик вызывает уменьшение потенциальной энергии яблока по сравнению с энергией другого яблока? Небольшой холмик или яма не оказывают практически никакого влияния на запас потенциальной энергии поднятого над Землёй тела. Эта потенциальная энергия обусловлена взаимодействием тела со всем земным шаром. Отсчёт высоты тела над Землёй можно вести от любого уровня, удобного по условию задачи. Но при этом всегда необходимо точно определять, на каком уровне значение потенциальной энергии тела следует условно принять равным нулю. Потенциальная энергия тела относительна, её значение зависит от выбора нулевого уровня энергии.

Хотя значение потенциальной энергии поднятого над Землёй тела относительно, изменение потенциальной энергии при перемещении тела из одной точки в другую оказывается одинаковым независимо от выбора уровня отсчёта энергии.

Скорость движения любого тела есть величина относительная, зависящая от выбора тела отсчёта. Поэтому и кинетическая энергия любого тела, равная половине произведения массы тела на квадрат скорости его движения, является относительной величиной. Однако при действии на тело внешней силы изменение его кинетической энергии не зависит от выбора тела отсчёта.

Зависимость потенциальной энергии тела от расстояния до Земли. Формула для вычисления потенциальной энергии тела в поле силы тяжести Земли $E_u = mgh$ является приблизительной и может быть использована для расчёта энергии далеко не при всех условиях. Как мы уже отмечали в § 11, сила гравитационного притяжения к Земле зависит от расстояния до центра Земли. Поэтому формулой $E_u = mgh$ можно пользоваться для вычисления потенциальной энергии тел только на таких расстояниях h от поверхности Земли, на которых незаметно изменение значения силы тяжести. Такие изменения незаметны, если расстояние h во много раз меньше радиуса Земли.

Задача 20.4. Как изменится потенциальная энергия человека массой 50 кг при подъёме на воздушном шаре на высоту 100 м?

Задача 20.5. Чему равна потенциальная энергия человека, поднявшегося от подножия холма на его вершину? Высота холма 20 м, масса человека 50 кг, подножие холма находится на уровне моря.

Задача 20.6. Сравните кинетическую энергию спортсмена массой 60 кг, пробежавшего стометровку за 10 с, и кинетическую энергию теннисного мяча массой 50 г, которому спортсмен сообщил скорость 108 км/ч.

?

Вопросы

1. Зависит ли значение потенциальной энергии тела, поднятого над Землёй, от выбора начального уровня отсчёта высоты тела?
2. Зависит ли изменение потенциальной энергии тела при его перемещении из одной точки в другую от выбора начального уровня отсчёта высоты тела?
3. Зависит ли значение кинетической энергии тела от выбора тела отсчёта?
4. Зависит ли изменение кинетической энергии тела при действии на него внешней силы от выбора тела отсчёта?

Задача 20.7. При игре в теннис спортсмен сообщил теннисному мячу скорость 216 км/ч. На какую высоту над землёй мог бы взлететь мяч с такой начальной скоростью при отсутствии сопротивления воздуха?

? Упражнение

Ниже описано несколько явлений, при которых происходит превращение одного вида механической энергии в другой.

- 1) Мальчик забросил мяч на крышу дома.
- 2) Яблоко падает с яблони.
- 3) Велосипедист разогнался на горизонтальном участке дороги и, не вращая педали, выехал на вершину небольшой горки.
- 4) Человек на лыжах скатывается с большого трамплина.
- 5) Космическая ракета стартует вертикально вверх и через 2 мин поднимается на высоту 300 км и движется со скоростью 8 км/с.
- 6) Самолёт летел на высоте 10 км над поверхностью Земли со скоростью 900 км/ч, а затем совершил посадку в аэропорту.

Запишите номера предложений, в которых описаны процессы:

- A) уменьшения потенциальной энергии и увеличения кинетической энергии;
- Б) увеличения потенциальной энергии и уменьшения кинетической энергии;
- В) увеличения потенциальной энергии и увеличения кинетической энергии;
- Г) уменьшения потенциальной энергии и уменьшения кинетической энергии.

Пример решения задачи

Задача. На рисунке 20.6 представлен график зависимости потенциальной энергии тела от высоты над уровнем моря. Чему равна масса этого тела?

Решение:

Потенциальная энергия тела массой m на высоте h над уровнем моря, принятым за начало отсчёта, равна:

$$E_p = mgh, \quad (1)$$

где коэффициент g равен 9,8.

Массу m тела можно вычислить по известным значениям его потенциальной энергии E_p и высоты h над уровнем моря, на которой тело обладает такой энергией:

$$m = \frac{E_p}{gh}. \quad (2)$$

Значение потенциальной энергии E_p на некоторой высоте h можно определить по графику (см. рис. 20.6). Для более точного отсчёта по графику значений энергии и высоты нужно выбрать на графике максимальные значения величин. Выбираем значение высоты равным 10 м и проводим вертикальную прямую до пересечения с графиком в точке A. Через точку A проводим горизонтальную прямую. Точка пересечения этой прямой с вертикальной осью координат определяет значение потенциальной энергии тела на данной высоте, равное 490 Дж (рис. 20.7). Подставляя найденные значения высоты и потенциальной энергии в формулу (2), вычисляем массу тела:

$$m = \frac{490}{9,8 \cdot 10} \text{ кг} = 5 \text{ кг.}$$

Ответ: $m = 5$ кг.

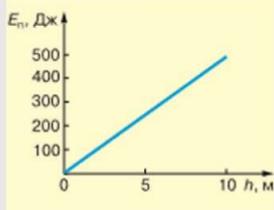


Рис. 20.6

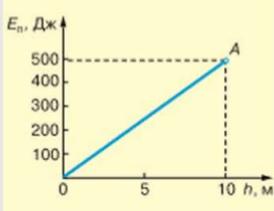


Рис. 20.7

§21. Работа и мощность

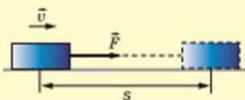


Рис. 21.1

Работа. Изменение кинетической энергии тела происходит в результате его взаимодействия с другими телами. Действие силы, приводящее к изменению энергии тела, характеризуется в физике величиной, называемой **работой**. При совпадении направления вектора силы с направлением вектора скорости тела (рис. 21.1)

работой силы называется физическая величина A , равная произведению модуля силы F на путь s , пройденный телом:

$$A = Fs.$$

Единица работы. За единицу работы в Международной системе единиц принимают работу, совершающую силой 1 Н на пути 1 м при движении по направлению вектора силы. Эта единица работы равна единице энергии джоуль (1 Дж):

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м.}$$

Работа силы и изменение кинетической энергии тела. Замечательным свойством работы силы является её связь с изменением кинетической энергии тела, на которое действует сила: при совпадении направления вектора скорости v с направлением вектора силы \vec{F} работа силы на участке пути равна изменению кинетической энергии тела под действием этой силы.

Изменение физической величины, равное разности между её конечным и начальным значениями, обозначается символом этой величины со значком Δ («дельта»), заглавной буквой греческого алфавита.

Например, если под действием постоянной силы \vec{F} скорость автомобиля массой m за время t увеличилась от 0 до v и направление вектора скорости совпадало с направлением вектора силы \vec{F} (рис. 21.2), то при таком движении кинетическая энергия E_k в начальный момент времени была равна нулю, а в момент времени t равна:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Изменение кинетической энергии ΔE_k за время действия силы равно разности между конечным значением энергии E_k и её начальным значением, равным нулю:

$$\Delta E_k = E_k - 0 = \frac{mv^2}{2}.$$

Это изменение кинетической энергии равно работе силы F на пути s :

$$\Delta E_k = Fs.$$

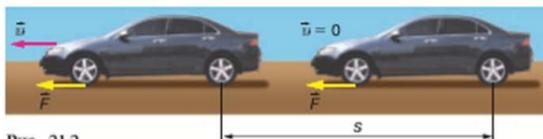


Рис. 21.2

Вычисление работы силы при взаимодействии тел — это способ вычисления энергии, переданной от одного тела другому.

Мощность. Одинаковую работу по выкапыванию ямы в земле может выполнить муравей, человек или экскаватор. Очевидно, что при одинаковой совершенной работе муравей, человек и экскаватор существенно различаются как работники. Работу, выполняемую экскаватором за 1 мин, человек сможет выполнить за несколько часов, а муравью такую работу не удастся выполнить и за всю его жизнь.

Для сравнения результатов действия сил по работе, совершаемой в единицу времени, в физике используется понятие «мощность».

Мощностью называется физическая величина, равная отношению работы A к промежутку времени t , в течение которого она совершена.

Мощность обозначается буквой N :

$$N = \frac{A}{t}$$

● Экспериментальное задание 21.1

Работаем самостоятельно

Измерение работы

Оборудование: динамометр, учебник физики, измерительная линейка, нитка.

Измерьте работу при перемещении учебника физики от одного края стола до другого.

Порядок выполнения задания

1. Обвязжите учебник нитью. Прикрепите к нити крючок динамометра. Расположив динамометр горизонтально, измерьте силу упругости F , под действием которой учебник движется по столу с постоянной скоростью (рис. 21.3).

2. Измерьте ширину s стола и вычислите работу A силы упругости при перемещении учебника от одного края стола до другого: $A = Fs$.



Рис. 21.3

Единица мощности в Международной системе единиц называется *ватт* (1 Вт). При мощности в 1 Вт совершается работа в 1 Дж за 1 с:

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

Название единицы мощности дано в честь шотландского изобретателя паровой машины Джеймса Уатта (1736–1819).

Задача 21.1. Какую работу совершает спортсмен, поднимавший с земли на высоту 2 м штангу массой 200 кг?

Задача 21.2. На прямолинейном отрезке траектории длиной 150 м скорость автомобиля массой 1000 кг увеличилась от 0 до 108 км/ч. Вычислите значение постоянной силы, вызвавшей такое изменение скорости.

Задача 21.3. Спортсмен массой 75 кг за 5 с бега увеличил скорость своего движения от 0 до 10 м/с. Какой была его полезная мощность?

! Вопросы

- Что в физике называют работой?
- При каких условиях работа силы равна произведению модуля силы на пройденный путь?
- Как определяется единица работы?
- Что такое мощность?
- Как определяется единица мощности?

Пример решения задачи

Задача. Пуля массой 10 г, движущаяся со скоростью 500 м/с, пробила деревянный щит толщиной 2 см и вылетела со скоростью 300 м/с. Вычислите работу силы сопротивления движению пули и среднее значение силы сопротивления.

Дано:	СИ
$M_0 = 10 \text{ г}$	0,01 кг
$v_1 = 500 \text{ м/с}$	500 м/с
$S = 2 \text{ см}$	0,02 м
$v_2 = 300 \text{ м/с}$	300 м/с
$A = ?$... Дж
$F_{\text{ср}} = ?$... Н

Решение:

Работа силы сопротивления равна изменению кинетической энергии пули: $A = \Delta E_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$,

$$A = \frac{0,01 \text{ кг} \cdot (300^2 \text{ м}^2/\text{с}^2)}{2} - \frac{0,01 \text{ кг} \cdot (500^2 \text{ м}^2/\text{с}^2)}{2} = -800 \text{ Дж.}$$

Так как

$$A = F_{\text{ср}}S, F_{\text{ср}} = \frac{A}{S}, \text{ то } F_{\text{ср}} = \frac{800 \text{ Дж}}{0,02 \text{ м}} = 40000 \text{ Н.}$$

Ответ: $A = -800 \text{ Дж}, F_{\text{ср}} = 40000 \text{ Н.}$

Задача 21.4. Какую работу совершает равнодействующая всех сил при разгоне самолёта из состояния покоя до скорости 360 км/ч по горизонтальной взлётной полосе, если масса самолёта равна 160 т?

Задача 21.5. Чему равна работа силы трения при торможении автомобиля массой 1500 кг от начальной скорости 72 км/ч до полной остановки?

Задача 21.6. Скорость автобуса увеличивается от 10 до 20 м/с. Чему равна работа равнодействующей всех сил, действующих при этом на пассажира автобуса массой 80 кг?

Задача 21.7. Автомобиль массой 1700 кг разгоняется из состояния покоя до скорости 108 км/ч за 6 с. Вычислите полезную мощность двигателя автомобиля, считая полезными только затраты энергии на увеличение кинетической энергии автомобиля. Мощность выразите в ваттах, киловаттах и лошадиных силах.

Задача 21.8. Сможет ли автомобиль, имеющий максимальную мощность двигателя 170 л.с., разогнаться за 5 с из состояния покоя до скорости 108 км/ч? Масса автомобиля равна 2000 кг.

Задача 21.9. Максимальная сила тяги электровоза при движении с постоянной скоростью 36 км/ч равна 300 000 Н. Чему равна мощность двигателей электровоза?

Задача 21.10. Человек массой 50 кг поднялся по ступеням лестницы на пятый этаж дома за 98 с. Чему равна мощность человека, если высота одной ступени равна 20 см, а число ступеней между этажами 20?

Задача 21.11. Ученник обвязал нитью учебник физики, прокрепил нить динамометр, расположил его горизонтально. Натягивая нить, он перемещал учебник равномерно от одного края стола до другого. При этом сила упругости F , под действием которой двигался учебник, была равна 3 Н. Расстояние s от одного края стола до другого равно 1 м. Найдите работу, которую совершил ученик.



Вопросы

1. От каких величин зависит мощность?
2. Как вы думаете, увеличилась бы ваша мощность, если бы вы взбежали на высоту, вдвое большую?

§22. Простые механизмы

Зарождение и развитие механики как части науки физики было вызвано практическими потребностями человека при постройке жилищ, дорог, мостов, при создании транспортных средств. Ещё при строительстве египетских пирамид применялись такие простые механизмы, как **наклонная плоскость, рычаг, блок**.

Наклонная плоскость. Наклонная плоскость используется для того, чтобы тяжёлый груз перемещать на высоту h силой, значительно меньшей веса груза. Установив один край доски длиной l на нужной высоте h , а другой край на поверхности земли, груз можно перемещать вдоль этой доски. При отсутствии сил трения для такого перемещения к грузу требуется приложить параллельно наклонной плоскости силу F , во столько раз меньшую силы тяжести mg , действующей на груз, во сколько раз высота h меньше длины l наклонной плоскости (рис. 22.1):

$$\frac{mg}{F} = \frac{l}{h}, \quad F = mg \frac{h}{l}.$$

Отношение $k = \frac{mg}{F} = \frac{l}{h}$ называют **выигрышем в силе**.

Силы трения с помощью смазки можно сделать пренебрежимо малыми.

При выигрыше в силе в l/h раз применение наклонной плоскости ведёт к проигрышу в расстоянии ровно во столько же раз. Поэтому при отсутствии сил трения сила F , действующая вдоль наклонной плоскости, совершает точно такую же работу, какую необходимо совершить при подъёме тела массой m вертикально вверх на высоту h :

$$A = Fl = mg \frac{h}{l} l = mgh.$$

Наклонная плоскость не даёт выигрыша в работе.

Рычаг. Тело, имеющее ось вращения, называют **рычагом**. Как мы выяснили при изучении § 14, в случае действия двух сил, вращающих рычаг в противоположных направлениях, рычаг находится в равновесии при равенстве произведений модулей сил на плечи этих сил (рис. 22.2):

$$F_1l_1 = F_2l_2.$$

Отсюда следует, что рычаг может обеспечить выигрыш в силе в l_1/l_2 раз:

$$k = \frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Выигрыш в силе в k раз при использовании рычага ведёт к проигрышу в расстоянии во столько же раз. Поэтому рычаг не даёт выигрыша в работе.

Блок. Колесо, укреплённое на оси, может использоваться в качестве простого механизма, называемого **блоком**. Если ось колеса неподвижна, колесо называют **неподвижным блоком**, если ось колеса перемещается — **подвижным блоком**.

Неподвижный блок позволяет изменить направление действия силы. Например, человеку гораздо легче поднимать тяжёлый груз вверх с помощью неподвижного блока, находясь на земле и прилагая силу, направленную вниз, чем поднимать его с помощью верёвки вверх (рис. 22.3).

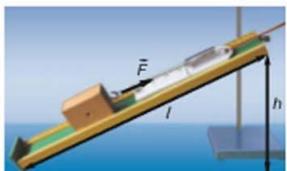


Рис. 22.1

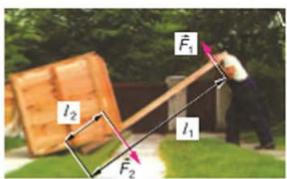


Рис. 22.2

При подъёме груза с помощью подвижного блока один конец троса закрепляется вверху, а подъём груза осуществляется под действием силы, приложенной к другому концу троса. Действие силы тяжести mg уравновешивается действием двух одинаковых сил упругости со стороны двух тросов, поэтому для подъёма груза достаточно приложить к одному тросу силу \vec{F} , равную половине веса груза, т. е. подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза (рис. 22.4).

Подвижный и неподвижный блоки, как и любые другие механизмы, не дают выигрыша в работе.

Коэффициент полезного действия. На практике при использовании любых простых механизмов действуют силы трения. В результате действия сил трения затраченная работа оказывается больше полезной работы.

Отношение полезной работы A_n к затраченной работе A_z называется коэффициентом полезного действия простого механизма (КПД).

Коэффициент полезного действия обозначается буквой греческого алфавита η («эта»):

$$\eta = \frac{A_n}{A_z}.$$

При подъёме тела весом mg по наклонной плоскости на высоту h полезная работа A_n равна работе по преодолению силы тяжести mg на расстояние h : $A_n = mgh$. Затраченная работа A_z равна произведению силы F на путь L : $A_z = FL$.

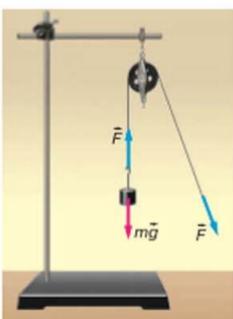


Рис. 22.3

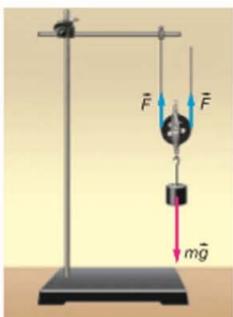


Рис. 22.4

● Экспериментальное задание 22.1

Работаем самостоятельно

Измерение коэффициента полезного действия наклонной плоскости

Оборудование: деревянная доска, деревянный бруск, динамометр, измерительная линейка, штатив.

Определите КПД наклонной плоскости и вычислите выигрыш в силе при подъёме груза по наклонной плоскости.

Порядок выполнения задания

- Соберите установку по рисунку 22.1. Измерьте высоту h и длину L наклонной плоскости.
- Положите бруск на наклонную плоскость. Прикрепив к нему динамометр, равномерно тяните его вверх вдоль наклонной плоскости. Измерьте силу F .
- Измерьте с помощью динамометра силу тяжести mg бруска.
- Вычислите выигрыш в силе k и КПД наклонной плоскости η . Результаты запишите в таблицу.

Таблица 22.1

$mg, \text{Н}$	$h, \text{м}$	$L, \text{м}$	$F, \text{Н}$	k	η



Вопросы

- Для чего применяют простые механизмы?
- Что называют выигрышем в силе при использовании простых механизмов?
- Что называют коэффициентом полезного действия простого механизма?
- Как можно увеличить КПД наклонной плоскости?
- Почему простые механизмы используются на практике, если их КПД меньше 1?

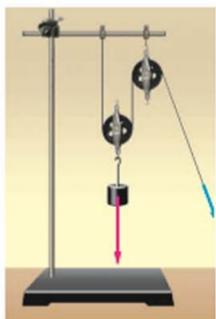


Рис. 22.5



Рис. 22.6

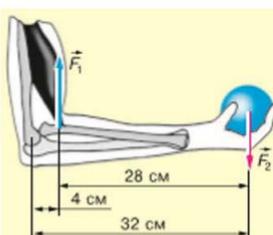


Рис. 22.7

Задача 22.1. Докажите, что при подъёме груза по наклонной плоскости длиной l на высоту h без трения выигрыш в силе равен отношению l/h .

Задача 22.2. Докажите, что при подъёме груза с помощью рычага при отсутствии трения КПД равен 1.

Задача 22.3. Докажите, что при подъёме груза с помощью подвижного или неподвижного блока нельзя получить выигрыш в работе.

Задача 22.4. Объясните, почему легче поднимать тяжёлый груз вверх с помощью неподвижного блока, находясь на земле и прилагая силу, направленную вниз, чем просто поднимать его с помощью верёвки вверх.

Задача 22.5. На рисунке 22.5 представлена система из двух блоков, предназначенная для подъёма грузов. Какой выигрыш в силе и какой выигрыш в работе даёт эта система блоков при отсутствии сил трения?

Задача 22.6. На рисунке 22.6 представлен инструмент плоскогубцы. Какой примерно выигрыш в силе даёт этот инструмент?

Задача 22.7. На рисунке 22.7 представлена схема строения руки человека. Используя эту схему, определите, с какой силой F_1 действует мышца руки для удержания в равновесии груза массой 10 кг, действующего на ладонь силой F_2 . Какой выигрыш в силе даёт этот рычаг руки? Массой руки в расчётах пренебречь.

Пример решения задачи

Задача. На рисунке 22.8 представлена схема устройства велосипеда. На схеме указаны в сантиметрах радиусы шестерён и колеса, расстояние от оси вращения рычага педали до педали. Вычислите силу натяжения цепи F_2 и силу F_3 , с которой колесо толкает горизонтальную поверхность при нажатии ноги на педаль силой F_1 , равной 240 Н. На сколько сантиметров переместится велосипед при перемещении педали на 1 см?

Какой выигрыши в силе и какой выигрыш в работе даёт система передачи велосипеда? Почему на велосипеде можно двигаться быстрее, чем при беге, хотя при этом нужно двигать не только себя, но и велосипед?

Решение:

Педаль P жёстко соединена с большой шестерней W_1 , и они вращаются вместе (см. рис. 22.8). Так как плечо силы F_1 в 2 раза больше плеча силы F_2 , то сила натяжения цепи F_2 в 2 раза больше силы F_1 и равна 480 Н. Так как плечо I_2 силы F_2 в 12 раз меньше плеча I_3 силы F_3 , сила F_3 в 12 раз меньше силы F_2 и равна 40 Н. Это в 6 раз меньше силы F_1 .

При перемещении педали на 1 см цепь сместится на 0,5 см, так как радиус большой шестерни W_1 в 2 раза меньше радиуса окружности, по которой движется педаль. Зуб малой шестерни W_2 на колесе под действием цепи перемещается на такое же расстояние, как цепь, т. е. на 0,5 см. Радиус колеса в 12 раз большие радиуса жёстко связанной с ним и вращающейся вместе с ним малой шестерни, по-

этому перемещение колеса в 12 раз больше и равно 6 см. Это значит, что велосипед движется относительно земли в 6 раз быстрее, чем нога, нажимающая на педаль, движется относительно велосипеда.

Таким образом, система передачи велосипеда даёт пропорции в силе в 6 раз и выигрыш в расстоянии в 6 раз, а выигрыша в работе не даёт.

Человек может двигаться по горизонтальной поверхности на велосипеде быстрее, чем при беге, хотя при этом вынужден двигать не только себя, но и велосипед. Это становится возможным потому, что велосипедисту не нужно тратить силы на преодоление силы тяжести, действующей на его тело. При беге человек совершает прыжки, преодолевая действие силы тяжести, и после каждого прыжка, приземляясь на вторую ногу, тормозит своё движение. Затем снова увеличивает свою скорость новым прыжком, растратив свои силы в основном бесполезно.

На велосипеде действие силы тяжести компенсируется силами упругости со стороны седла, педалей и руля, на которые опирается велосипедист. Свою энергию велосипедист расходует в основном на преодоление сил трения в механизмах велосипеда и сопротивления воздуха. Поэтому велосипедисту удается под действием в 6 раз уменьшенной силы действия ноги привести себя и велосипед в движение со скоростью, в 6 раз большей.

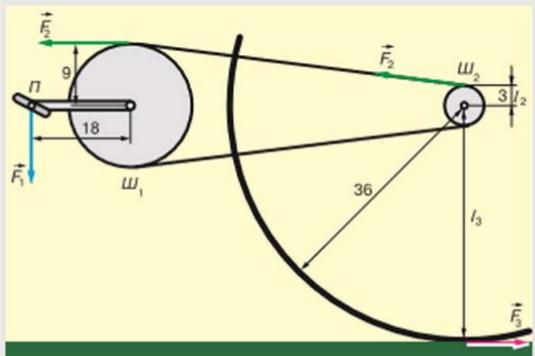


Рис. 22.8

Задача 22.8. На рисунке 22.9 представлена схема устройства тормозной системы автомобиля. Объясните назначение отдельных элементов этой системы. Укажите, какие законы физики используются в этой системе. Оцените, с какой примерно силой \vec{F}_2 поршень тормозной системы давит на тормозную колодку, если нога водителя давит на педаль тормоза силой \vec{F}_1 , равной 50 Н.

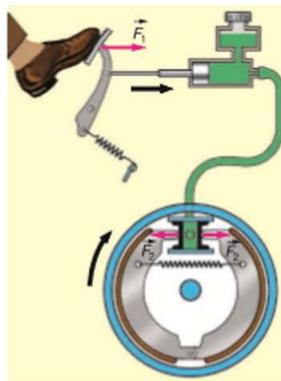


Рис. 22.9

§23. Механические колебания

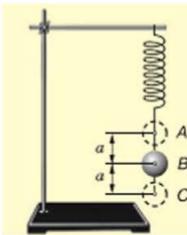


Рис. 23.1

Механические движения тел, повторяющиеся через одинаковые промежутки времени, называются механическими колебаниями.

Колебания, происходящие в системе тел без внешнего воздействия, называются **свободными колебаниями**.

Подвешенный на тонкой нити шар после отведения от положения равновесия и отпускания совершает периодические свободные колебания относительно положения равновесия. Такие колебания называются колебаниями маятника. Другой пример свободных механических колебаний — колебания шара, подвешенного на пружине (рис. 23.1).

Период колебаний. Минимальное время, через которое тело, совершающее колебания, оказывается в той же точке пространства и движется с той же скоростью, называется **периодом** колебаний. Период колебаний обозначается буквой T латинского алфавита. Его можно вычислить, разделив время t колебаний на число n совершенных колебаний:

$$T = \frac{t}{n}.$$

Частота колебаний. Отношение числа колебаний n к времени t , за которое совершаются эти колебания, называется **частотой** колебаний. Для свободных колебаний эта частота называется **собственной** частотой колебаний системы тел.

Частота обозначается буквой греческого алфавита ν («ню»): $\nu = \frac{n}{t}$.

Единица частоты называется **герц** (1 Гц). При частоте 1 Гц за 1 с совершается одно колебание. Период и частота колебаний связаны соотношением $\nu = \frac{1}{T}$.

Амплитуда колебаний. Наибольшее значение смещения a тела от положения равновесия называется **амплитудой** механических колебаний (см. рис. 23.1).

Вынужденные колебания. Колебания под действием периодически действующих внешних сил называются **вынужденными** колебаниями. Например, если качели один раз отклонить от положения равновесия и отпустить, то далее будут происходить свободные колебания качелей. Если эти качели периодически подталкивать, то они будут совершать вынужденные колебания.

Резонанс. Амплитуда вынужденных колебаний оказывается наибольшей при совпадении частоты изменений вынуждающей силы с собственной частотой свободных колебаний системы. Это явление называется **резонансом**. При совпадении частоты изменения силы с собственной частотой колебаний системы внешняя сила в течение всего периода направлена в сторону вектора скорости колеблющегося тела и увеличивает амплитуду колебаний тела.

Явление резонанса можно наблюдать в опыте с несколькими маятниками разной длины, подвешенными на одной горизонтально натянутой нити. Если вывесить из положения равновесия один из маятников, то его свободные колебания вызывают колебания нити, на которой подвешены другие маятники. Амплитуды вынужденных колебаний этих маятников оказываются различными. Максимальной оказывается амплитуда вынужденных колебаний маятника такой же длины, как у маятника, вызывающего вынужденные колебания, т. е. с такой же частотой свободных колебаний (рис. 23.2).

Явление резонанса при вынужденных колебаниях может быть причиной разрушения машин и различных сооружений. В 1906 г. в Петербурге обрушился Египетский мост через реку Фонтанку во время прохождения через него кавалерийского эскадрона, в котором лошади были обучены шагу в ногу (рис. 23.3). Частота вынуждающей силы периодических ударов копыт

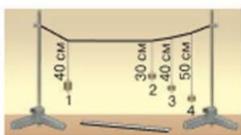


Рис. 23.2



Рис. 23.3. Египетский мост
(разрушенный мост и современный вид моста)

совпада с собственной частотой колебаний моста, отчего тот обрушился. Для предотвращения подобных катастроф воинским частям на мостах запрещается идти в ногу.

Вопросы

- Что такое механические колебания?
- Какое движение тел называется свободными колебаниями?
- Что называется частотой колебаний?
- Что называется периодом колебаний?
- Что называется амплитудой колебаний?
- Какие колебания называют вынужденными колебаниями?
- Что такое резонанс?

Экспериментальное задание 23.1

Работаем самостоятельно

Изучение колебаний маятника

Оборудование: шар, нить, штатив, измерительная линейка, секундомер.

Исследуйте зависимость периода колебаний маятника от длины, амплитуды колебаний и массы шара.

Порядок выполнения задания

1. Подвесьте стальной шар на нити длиной $l = 30$ см. Отклоните шар от положения равновесия и отпустите его. Измерьте время t , за которое маятник совершил 10 колебаний, и вычислите период колебаний T маятника.

2. Увеличьте длину маятника до 120 см и измерьте период колебаний маятника. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 23.1. Как зависит период колебаний маятника от его длины?

Таблица 23.1

l , см	t , с	n	T , с

3. Измерьте периоды колебаний маятника длиной 120 см при амплитуде колебаний 5 и 15 см. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 23.2.

Сделайте вывод, зависит ли период колебаний маятника от амплитуды σ его колебаний.

Таблица 23.2

σ , см	t , с	n	T , с

4. Замените стальной шар пластмассовым и измерьте период колебаний маятника длиной 120 см.

Сделайте вывод, зависит ли период колебаний маятника от его массы.

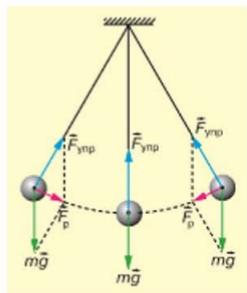


Рис. 23.4

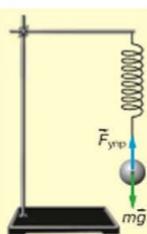


Рис. 23.5

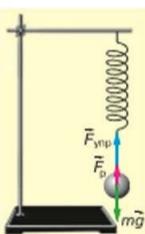


Рис. 23.6

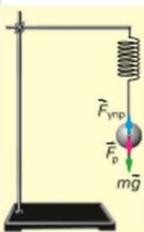


Рис. 23.7

Как возникают механические колебания. Рассмотрим колебание тела, подвешенного на нити. Когда тело неподвижно и находится на одной вертикальной прямой с точкой подвеса, сила упругости и сила тяжести равны по модулю и направлены противоположно, их равнодействующая равна нулю. Это положение тела называется **положением равновесия**. При отклонении тела от положения равновесия вправо или влево равнодействующая сила тяжести и упругости не равна нулю и направлена к положению равновесия (рис. 23.4).

Если отклоненный груз отпустить, то под действием равнодействующей силы он начинает двигаться к положению равновесия с возрастающей скоростью. По мере приближения к положению равновесия угол между векторами силы тяжести и силы упругости увеличивается, равнодействующая сила по модулю уменьшается и в положении равновесия становится равной нулю. После прохождения телом по инерции положения равновесия угол между векторами силы тяжести и силы упругости уменьшается, вектор равнодействующей силы вновь направлен к положению равновесия. При удалении тела от положения равновесия вектор равнодействующей направлен противоположно вектору скорости. Под действием этой силы скорость движения тела постепенно уменьшается и становится равной нулю при максимальном отклонении от положения равновесия. Затем направление движения изменяется, тело вновь движется к положению равновесия, и процесс повторяется.

Колебания груза на пружине. При подвешивании груза массой m на спиральной пружине он может находиться в покое при равенстве нулю равнодействующей силы тяжести и силы упругости (рис. 23.5):

$$\vec{F}_{\text{упр}} + \vec{mg} = 0.$$

При смещении груза вниз от положения равновесия на расстояние x равнодействующая F_p равна $F_p = -kx$ и направлена вертикально вверх (рис. 23.6).

Если смещённый вниз груз отпустить, то равнодействующая F_p вызывает его движение вверх, к положению равновесия. При достижении положения равновесия по инерции груз продолжает движение вверх до тех пор, пока весь запас кинетической энергии тела, полученный в процессе движения к положению равновесия, не израсходуется на совершение работы против действия силы тяжести. После достижения верхней точки подъёма груз начинает движение вниз, увеличивая свою скорость, так как выше положения равновесия равнодействующая силы упругости и силы тяжести направлена вниз (рис. 23.7). По инерции он проходит положение равновесия, равнодействующая силы упругости и силы тяжести теперь направлена вверх, к положению равновесия. Она тормозит движение тела до остановки в нижней точке, и процесс повторяется.

При любых свободных механических колебаниях тел происходит постепенное уменьшение отклонений тела от положения равновесия до полной его остановки. Такой процесс называется **затуханием** колебаний. Затухание колебаний происходит в результате действия сил трения.

Условия возникновения свободных колебаний. Выделим условия возникновения свободных механических колебаний.

1) Для возникновения свободных механических колебаний в одном определённом положении тела в пространстве, называемом положением равновесия, равнодействующая сил должна быть равна нулю. При выведении тела из положения равновесия равнодействующая всех сил должна быть отлична от нуля и направлена к положению равновесия.

2) Для начала свободных колебаний система должна быть выведена из положения равновесия внешним воздействием.

3) Свободные колебания возникают в том случае, если силы трения в системе малы по сравнению с силами, зависящими от положения тела в пространстве.

● Экспериментальное задание 23.2

Работаем самостоятельно

Изучение колебаний груза на пружине

Оборудование: набор грузов, стальная пружина, штатив, измерительная линейка, секундомер, весы.

Иследуйте зависимость периода колебаний груза на пружине от его массы и амплитуды колебаний.

Порядок выполнения задания

1. Подвесьте груз массой 100 г на стальной пружине. Отклоните груз от положения равновесия и отпустите его. Измерьте время t_1 , за которое груз совершает 10 колебаний. Вычислите период колебаний T_1 груза. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 23.3.

2. Увеличьте массу груза до 400 г и измерьте период колебаний T_2 . Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 23.3.

Сделайте вывод о том, как зависит период колебаний груза от его массы.

Таблица 23.3

$m, \text{ г}$	$t, \text{ с}$	n	$T, \text{ с}$

3. Измерьте периоды колебаний груза при начальной амплитуде колебаний 3 и 6 см. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу 23.4.

Сделайте вывод о том, как зависит период колебаний маятника от амплитуды его колебаний.

Таблица 23.4

$a, \text{ см}$	$t, \text{ с}$	n	$T, \text{ с}$

Задача 23.1. При игре на гитаре середина струны проходит расстояние 0,5 см между крайними положениями за 0,001 с. Определите амплитуду, частоту и период колебаний струны.

Задача 23.2. Маятник совершает свободные колебания частотой 0,5 Гц. За какое время маятник перемещается из крайнего положения в положение равновесия?

Задача 23.3. Груз, подвешенный на пружине, совершает вдоль вертикальной прямой свободные колебания амплитудой 25 см и частотой 0,4 Гц. Определите путь, проиленный грузом за 10 с.

§24. Механические волны



Рис. 24.1

В непрерывной среде колебания частиц в одном месте вызывают вынужденные колебания соседних частиц, те, в свою очередь, возбуждают колебания других частиц.

Процесс распространения колебаний в твёрдых, жидких и газообразных телах называется **механическими волнами**.

Волны, в которых колебания происходят перпендикулярно направлению распространения волны, называются **перпендикулярными волнами**. Такие волны распространяются вдоль спиральной пружины при колебаниях одного её конца. Волны, в которых колебания происходят вдоль направления распространения волны, называются **продольными волнами**.

Продольная волна распространяется вдоль спиральной пружины при колебаниях одного её конца вдоль пружины в виде периодических сжатий и растяжений (рис. 24.1, низ). Примером продольных волн являются **звуковые волны**. Колебания струны гитары вызывают периодические сжатия и разрежения воздуха вблизи неё (рис. 24.2). Процесс распространения сжатий и разрежений в воздухе во все стороны и является звуковой волной.

Для доказательства того, что звук не может распространяться в пустоте, выполним опыт с мобильным телефоном под воздушным колоколом. При откачивании воздуха из под колокола звук мобильного телефона становится неслышимым, хотя видно, что телефон подаёт сигнал (рис. 24.3).

Громкость звука. Ощущение звука в наших органах слуха возникает при периодическом изменении давления воздуха. Звуковые волны с большой амплитудой изменения звукового давления воспринимаются ухом человека как громкие звуки, волны с малой амплитудой — как тихие звуки.

Высота тона. Звуковые колебания высокой частоты называются звуками **высокого тона**, звуковые колебания низкой частоты называются звуками **низкого тона**. Органы слуха человека способны воспринимать звуки с частотой в пределах примерно от 20 до 20 000 Гц. Продольные волны с частотой менее 20 Гц называются **инфразвуком**, с частотой более 20 000 Гц — **ультразвуком**.

Скорость волны и длина волны. Скорость v распространения колебаний в пространстве называется **скоростью волны**. Расстояние между ближайшими точками, движущимися в любой момент времени со скоростями, одинаковыми по модулю и направлению, называется **длиной волны** (см. рис. 24.1). Длина волны обозначается греческой буквой λ («ламбда»).

При скорости волны v за период T колебания распространяются на расстояние, равное длине волны λ : $\lambda = vT$.

Скорость волны связана с частотой в колебаний выражением

$$v = \lambda\nu.$$

Частота волн определяется частотой колебаний источника колебаний, а скорость распространения зависит от свойств среды. Поэтому при распространении колебаний с одной и той же частотой длина волны в разных средах оказывается различной.



Рис. 24.2



Рис. 24.3

Резонанс. При встрече звуковой волны с каким-либо телом возникают вынужденные колебания. Если частота собственных свободных колебаний тела совпадает с частотой звуковой волны, то условия для передачи энергии от звуковой волны телу оказываются наилучшими, амплитуда вынужденных колебаний при этом достигает максимального значения — наблюдается **резонанс**. Явление резонанса можно наблюдать в опыте с камертоном и резонаторным ящиком (рис. 24.4).

Если стержень звучащего камертоном поставить на деревянный ящик, открытый с одной стороны, то звук заметно усиливается. Значительное усиление звука происходит в том случае, если воздух в ящике обладает собственной частотой свободных колебаний, равной частоте колебаний камертона.

Явление резонанса используется в музыкальных инструментах для усиления их звучания. Резонаторами являются корпус гитары, корпус скрипки, трубы духовых инструментов. Корпус музыкального инструмента имеет особую форму для того, чтобы заключённый в нём воздух имел не одну собственную частоту колебаний, а много собственных частот (рис. 24.5). В этом случае инструмент способен за счёт резонанса усиливать звуки различных частот.



Рис. 24.5

Задача 24.1. Звук частотой 500 Гц за 10 с распространяется в воздухе на расстояние 3400 м. Определите длину волны звука.

Задача 24.2. Скорость звука в воздухе 340 м/с, скорость звука в воде 1500 м/с. Как изменяется длина волны звука при распространении звуковых колебаний из воздуха в воду?

Задача 24.3. При частоте колебаний 1000 Гц длина волны звука в стали равна 5 м. Определите скорость распространения звука в стали.



Рис. 24.4

Вопросы

1. Как возникают механические волны?
2. Какие волны называют поперечными и какие — продольными?
3. От чего зависит громкость звука и высота тона?
4. Что такое длина волны?
5. Как связана длина волны со скоростью её распространения и периодом колебаний?
6. Как используется явление резонанса в музыкальных инструментах?
7. Откуда берётся энергия для усиления звука при резонансе?
8. Какие музыкальные инструменты представлены на рисунке 24.5?

Экспериментальное задание 24.1

Работаем в группе

Определение границ частоты слышимых звуковых колебаний

Оборудование: звуковой генератор, динамик.

Определите минимальную и максимальную частоту звуков, которые способно слышать ваше ухо.

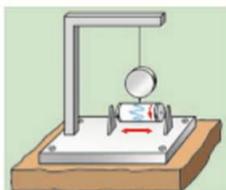


Рис. 24.6

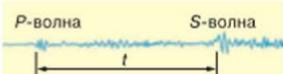


Рис. 24.7

Сейсмические волны. Самые мощные на Земле механические колебания и волны наблюдаются при землетрясениях. Землетрясения возникают при скачкообразных сдвигах больших участков земной коры на несколько десятков сантиметров или даже несколько метров. Эти сдвиги происходят в результате накопления напряжений в земной коре из-за движения литосферных плит со скоростью 2–6 см в год. При сдвиге земной коры от очага землетрясения распространяются продольные и поперечные сейсмические волны. Землетрясения приводят к разрушению городов, дорог, к гибели людей.

Продольные сейсмические волны в земной коре называются **P-волнами**. Скорость их распространения примерно 8 км/с. Поперечные сейсмические волны называются **S-волнами**. Их скорость равна примерно 5 км/с.

Для регистрации землетрясений, измерения их силы и определения расположения очагов используются **сейсмографы**. Сейсмограф состоит из маятника большой массы, который может свободно колебаться в одной плоскости. На конце маятника имеется пишущее перо, скользящее по бумаге на непрерывно вращающемся барабане. При отсутствии сотрясения земной поверхности запись сейсмографа имеет вид ровной линии. Землетрясение вызывает колебания основания под маятником, и перо записывает эти колебания на ленте (рис. 24.6).

Из-за различия скоростей распространения продольные и поперечные сейсмические волны одного землетрясения регистрируются сейсмографом в разное время (рис. 24.7).

Разность времени $t_{\text{пп}}$ распространения поперечных волн на расстояние s от места землетрясения до сейсмической станции A и времени $t_{\text{пн}}$ распространения продольных волн на такое же расстояние равна:

$$t = t_{\text{пп}} - t_{\text{пн}} = \frac{s}{v_{\text{пп}}} - \frac{s}{v_{\text{пн}}}.$$

Отсюда расстояние s от места землетрясения до станции A равно:

$$s = \frac{t \cdot v_{\text{пп}} v_{\text{пн}}}{v_{\text{пп}} - v_{\text{пн}}}.$$

Вычислив расстояние s , мы сможем узнать, на каком расстоянии от сейсмостанции находится очаг землетрясения, и нарисовать на глобусе окружность радиусом s с центром в сейсмостанции A . В какой из точек этой окружности находится очаг землетрясения, по наблюдениям на одной сейсмостанции узнать невозможно. Если это же землетрясение зарегистрировано на второй сейсмостанции, находящейся в точке B , то можно нарисовать на глобусе вторую окружность, отмечющую возможные положения эпицентра землетрясения. Эти две окружности пересекутся в двух точках, землетрясение произошло в одной из них. При получении сообщения о регистрации землетрясения третьей сейсмостанцией место землетрясения в точке C определяется однозначно (рис. 24.8).

Характеристики звука и слух человека. Раздел физики, в котором изучают звуковые явления, называется



Найдите

- http://class-fizika.narod.ru/9_25.htm (Длина волны. Скорость распространения волн.)
- http://class-fizika.narod.ru/9_26.htm (Звуковые волны.)

акустикой. В акустике, кроме частоты, скорости звука и длины волн, для описания звуковых явлений используют такие величины, как звуковое давление и интенсивность звука.

Звуковое давление — это дополнительное давление, возникающее в газе или жидкости при прохождении звуковой волны. Нижняя граница ощущения звука ухом человека составляет примерно 0,00001 Па. Так как нормальное атмосферное давление равно 100 000 Па, то человек способен обнаруживать изменения давления воздуха в одну десятимиллиардную долю от нормального атмосферного давления. При таком уровне звукового давления амплитуда колебаний барабанной перепонки составляет около одной миллионной доли миллиметра, т. е. лишь в несколько раз превышает диаметр атома. При обычном разговоре на расстоянии 1 м от говорящего создается звуковое давление около 0,0002 Па. Звуковое давление выше примерно 100 Па вызывает ощущение боли в ушах.

Голос человека. Источником звуковых колебаний при произнесении человеком гласных звуков являются голосовые связки, расположенные в верхней части дыхательного горла. Выходящий из лёгких воздух проходит через щель, образуемую голосовыми связками, и возбуждает колебания связок. Колебания связок вызывают изменения давления в проходящем воздухе и тем самым создают звуковые волны. Собственная частота колебаний связок зависит от их натяжения. Изменяя натяжение связок, человек изменяет высоту тона звука. Во время произнесения разных гласных звуков различны объём и форма полости рта, это изменяет условия акустического резонанса. При произнесении каждого гласного звука усиливаются звуковые колебания своего набора частот. По характерным частотам колебаний мы узнаём гласные звуки.

Механическая запись звука. Впервые осуществил запись и воспроизведение звука в 1877 г. американский изобретатель Томас Альва Эдисон. Прибор Эдисона назывался **фонографом**. Фонограф состоял из цилиндра, покрытого оловянной фольгой, трубы, закрытой с одной стороны тонкой мембранный, и иглы, прикреплённой к мемbrane и прижатой острым концом к поверхности цилиндра (рис. 24.9).

Звуковые волны вызывали изменения давления в трубе, и диафрагма в конце трубы совершила колебания. При равномерном вращении цилиндра и одновременном медленном его перемещении вдоль оси вращения игла процарапывала на поверхности оловянной фольги винтовую линию. Из-за колебаний диафрагмы давление иглы на фольгу изменялось с частотой звуковых колебаний и глубина канавки оказывалась в разных местах различной. Тот же цилиндр использовали для воспроизведения записанного звука. Механический способ записи звука существенно усовершенствовали, когда вместо вращающегося цилиндра использовали диск, с которого изготавливались большое число пластмассовых копий — граммофонных пластинок. Такими были предшественники современных дисков, на которых звуковые колебания записываются лазерным лучом с использованием совсем других принципов.

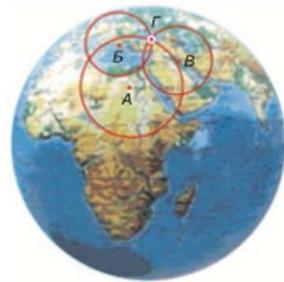


Рис. 24.8



Рис. 24.9

?

Вопрос

Объясните, как можно по времени запаздыванияоперечных сейсмических волн относительно момента прихода продольных волн определить место землетрясения наповерхности Земли.

Тест 3

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем
**«Равновесие тел. Давление. Закон Архимеда. Атмосферное давление.
Сила трения. Энергия. Работа. Мощность. Простые механизмы.
Механические колебания и волны».**

Работу над заданиями теста следует проводить так же, как рекомендовано на с. 36 для теста 1.

1. Рычаг с двумя грузами находится в равновесии на горизонтальной оси, проходящей через точку O . Расстояния от точек подвеса грузов до оси вращения указаны на рисунке Т3.1. Вес груза A равен 6 Н. Чему равен вес груза B ?

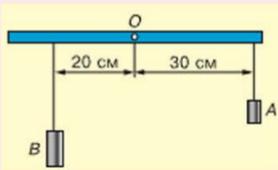


Рис. Т3.1

- 1) 9 Н 3) 4 Н
2) 6 Н 4) 2 Н

2. Под действием веса груза A и силы \vec{F} рычаг находится в равновесии на горизонтальной оси, проходящей через точку O . Расстояния от точек подвеса груза и приложения силы \vec{F} до оси вращения и другие расстояния указаны на рисунке Т3.2. Вес груза A равен 60 Н. Чему равен модуль силы F ?

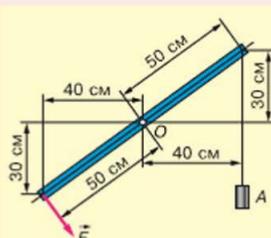


Рис. Т3.2

- 1) 36 Н
2) 48 Н
3) 60 Н
4) 75 Н
5) 80 Н

3. Центром тяжести тела называется
1) точка приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на все точки тела
2) точка приложения равнодействующей всех сил, действующих на тело
3) единственная точка, на которую действует сила тяжести
4) единственная точка, на которую не действует сила тяжести
4. В первом сосуде налита вода объёмом 1 дм³, во втором — объёмом 2 дм³. Расстояние от дна до поверхности воды в первом сосуде 10 см, во втором 5 см. В каком сосуде и во сколько раз давление воды на дно сосуда больше?
1) в первом, в 2 раза
2) в первом, в 4 раза
3) во втором, в 2 раза
4) во втором, в 4 раза
5. На поверхности воды на плавающего человека действует сила Архимеда 500 Н. Каким примерно станет значение этой силы после того, как человек дополнительно вдохнёт воздух объёмом 1 дм³?
1) 510 Н 3) 500 Н
2) 501 Н 4) 499 Н
6. Почему в вертикально расположеннном насосе при движении поршня вверх вода поднимается вслед за ним?
1) частицы воды притягиваются поверхностью поршня, поэтому вода движется за ним

- 2) движущийся поршень увлекает за собой воду
 3) вода поднимается вверх под действием давления атмосферного воздуха на открытую поверхность воды, передаваемого по всем направлениям
 4) при подъёме поршня между ним и водой образуется безвоздушное пространство, а вода обладает свойством заполнять пустое пространство
7. При равномерном движении бруска по горизонтальной поверхности на грани с площадью поверхности 100 см^2 сила трения F равна 2 Н. Каковы значения силы трения F_1 при равномерном движении того же бруска на грани с площадью поверхности 200 см^2 и силы трения F_2 при движении бруска на грани с площадью поверхности 200 см^2 с положенным сверху таким же бруском?
- $F_1 = F_2 = 2 \text{ Н}$
 - $F_1 = 2 \text{ Н}, F_2 = 4 \text{ Н}$
 - $F_1 = 1 \text{ Н}, F_2 = 2 \text{ Н}$
 - $F_1 = 4 \text{ Н}, F_2 = 8 \text{ Н}$
8. По дороге движутся легковой автомобиль массой 1000 кг со скоростью 100 км/ч и грузовой автомобиль массой 4000 кг со скоростью 50 км/ч. Какой автомобиль обладает большей кинетической энергией и во сколько раз?
- легковой автомобиль, в 2 раза
 - легковой автомобиль, в 4 раза
 - грузовой автомобиль, в 2 раза
 - грузовой автомобиль, в 4 раза
 - кинетическая энергия легкового автомобиля равна кинетической энергии грузового автомобиля
9. Человек массой 100 кг шёл со скоростью 1 м/с. Какую полезную работу ему необходимо совершить для увеличения своей скорости движения в том же направлении до 4 м/с?
- 300 Дж
 - 450 Дж
 - 750 Дж
 - 1500 Дж
10. Какую работу совершают двигатель автомобиля против сил трения при равномерном движении за время 5 с при мощности двигателя 50 кВт?
- 10 Дж
 - 250 Дж
 - 10 000 Дж
 - 250 000 Дж
11. Человек массой 60 кг начинает движение из состояния покоя, и через 4 с его скорость становится равной 10 м/с. Чему равна его полезная мощность?
- 24 кВт
 - 12 кВт
 - 750 Вт
 - 375 Вт
12. Какой выигрыш или проигрыш в силе и в работе даёт рычаг, представленный на рисунке Т3.3?
-

Рис. Т3.3

- выигрыш в силе в 2 раза, выигрыша или проигрыша в работе не даёт
- выигрыши в силе в 2 раза, проигрыши в работе в 2 раза
- выигрыши в силе в 2 раза, выигрыши в работе в 2 раза
- проигрыши в силе в 2 раза, выигрыши в работе в 2 раза
- рычаг не даёт выигрыша или проигрыша в силе или в работе

13. Шар на пружине совершает свободные колебания. Расстояние от верхнего положения A до нижнего положения C (рис. Т3.4) он проходит за 1 с. Чему равны амплитуда a и период колебаний T шара?

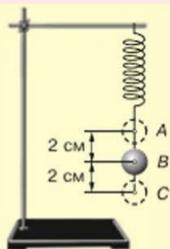


Рис. Т3.4

- 1) $a = 2 \text{ см}, T = 1 \text{ с}$
- 2) $a = 2 \text{ см}, T = 2 \text{ с}$
- 3) $a = 4 \text{ см}, T = 1 \text{ с}$
- 4) $a = 4 \text{ см}, T = 2 \text{ с}$
- 5) $a = 2 \text{ см}, T = 0,5 \text{ с}$

14. Звук частотой 1000 Гц за 2 с распространяется в воздухе на расстояние 680 м. Определите длину волны звука.

- 1) 1360 км
- 2) 340 км
- 3) 1,36 м
- 4) 0,34 м

03

Строение вещества

25	Атомное строение вещества	112
26	Взаимодействие частиц вещества	116
27	Свойства газов	120
28	Свойства твёрдых тел и жидкостей	124

§25. Атомное строение вещества



Рис. 25.1

«Если бы в результате какой-то мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям живых существ перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию? Я считаю, что это... все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся в беспрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому» (Ричард Фейнман, лауреат Нобелевской премии по физике).

Атомы и молекулы. Гипотеза о существовании **атомов** была высказана около 500 г. до н. э. древнегреческими философами. Согласно этой гипотезе при многократном процессе деления любого тела на всё меньшие части обязательно наступит момент, когда останется только один атом — самая маленькая частица данного вещества. Разделить атом не удастся никаким самым острым ножом: он неделимый (по-гречески атом — неделимый).

Различия свойств веществ атомная гипотеза объясняла разнообразием размеров и форм атомов.

Согласно этой гипотезе превращение веществ толковалось процессами соединения и разъединения атомов.

Многие вещества состоят из частиц, построенных из нескольких атомов. Такие частицы называются **молекулами**. Молекулы могут быть разделены на меньшие части — на атомы. Примером вещества, состоящего из молекул, является вода. Каждая молекула воды построена из двух атомов водорода и одного атома кислорода (рис. 25.1).



Рис. 25.2

Тепловое движение атомов и молекул. Испарение веществ, распространение запахов атомная гипотеза объясняет непрерывным и беспорядочным движением атомов. Это беспорядочное движение атомов называется **тепловым движением**.

Диффузия. При соприкосновении тел в результате теплового движения атомы одного тела могут проникать в промежутки между атомами другого тела. Это явление называется **диффузией**.

Диффузию в жидкости можно наблюдать, бросив в воду через трубку несколько кристаллов перманганата калия (марганцовки). После растворения марганцовки около дна стакана сначала образуется тонкий тёмноокрашенный слой раствора, а оальная вода остаётся светлой. В результате диффузии толщина окрашенного слоя увеличивается и постепенно происходит равномерное распределение частиц растворённого вещества между частицами жидкости (рис. 25.2).

В повседневной жизни медленность процесса диффузии в жидкостях можно ускорить, например, размешивая сахар в стакане с чаем. Если этого не сделать, то чай сначала придётся пить не сладким, а в конце слишком сладким.

При полной беспорядочности теплового движения атомов и молекул процесс диффузии происходит в направлении из области с большим числом молекул в единице объёма в область с меньшим их числом. Это свойство диффузии играет важную роль в процессах дыхания и питания животных и растений.

Для основных жизненных процессов человеку необходимо непрерывно потреблять кислород. Он получает его, выхдая каждую минуту воздух объёмом примерно в 6 дм^3 . Происходит диффузия кислорода во внутреннюю поверхность лёгких и затем сквозь тонкие стенки кровеносных сосудов в кровь. Диффузия кислорода из воздуха в кровь происходит потому, что в крови кислород быстро соединяется с другими молекулами и свободного кислорода в крови очень мало. А углекислого газа, образующегося в процессе жизнедеятельности организма, в крови очень много. Поэтому в лёгких углекислый газ диффундирует из крови в воздух. В результате в единице объёма выдыхаемого воздуха молекул углекислого газа примерно в 100 раз больше, чем в атмосферном воздухе.

Скорость диффузии в газах, жидкостях и твёрдых телах увеличивается с повышением температуры.

Броуновское движение. Одним из доказательств существования атомов и их беспорядочного беспорядочного движения было открытие английского ботаника Роберта Броуна. В 1827 г. при наблюдении в микроскоп он увидел, что частицы пыльцы растений в воде непрерывно и хаотически движутся. Такое же движение он обнаружил и у других мелких твёрдых частиц, находящихся в жидкостях. Это явление называли **бровновским движением**. Броуновское движение маленьких частиц в жидкостях и газах оказалось возможным объяснить как результат случайных ударов беспорядочно движущихся молекул вещества по этим частицам.

Размеры атомов и молекул. Атомы и молекулы так малы, что не видны даже в самый сильный микроскоп. Однако в настоящее время учёные создали приборы, с помощью которых можно получать фотографии, показывающие расположение отдельных атомов.

Диаметр самого маленького из атомов — атома водорода — оказался равным примерно одной десятимиллионной доле миллиметра!

Делимы ли атомы. Предположение философов древности о неделимости атомов подтвердила современная наука не в полной мере. Оказалось, что атом любого вещества можно разделить на части, называемые **элементарными частицами**, но эти части атомов не обладают свойствами атомов данного вещества. Так что атом — самая маленькая частица данного вещества.

Задача 25.1. Если бы диаметры атомов составляли не около $1/10\,000\,000 \text{ мм}$, а примерно 1 мм, то каким был бы рост человека, состоящего из атомов таких размеров?

● Домашнее экспериментальное задание 25.1

Работаем самостоятельно

Выполните опыт по наблюдению явления диффузии в растворе марганцовки.

@ Найдите

http://class-fisika.narod.ru/8_1a.htm (Тепловое движение.)

? Вопросы

1. Что такое атом?
2. Что такое молекула?
3. Какие явления доказывают существование теплового движения атомов?

«Первоначала вещей». В Древней Греции люди, желающие понять устройство мира, называли себя **философами** (от греческих слов *rphileo* — люблю и *sophia* — мудрость, т. е. любитель мудрости). Некоторые философы стремились найти первоначала всех вещей в непрерывно меняющемся мире. Эти философы были убеждены в том, что мир не создан богами, а существует сам по себе и непрерывно меняется. Гераклит утверждал: «Этот космос, один и тот же для всего существующего, не создал никакой бог и никакой человек, но всегда он был, есть и будет вечно живым огнём...»

Фалес считал, что все тела в природе возникают из одного первичного вещества — воды и в ней же превращаются. Анаксимен считал воздух первоначалом всего в мире, Гераклит — огонь, Ксенофан — землю. Эмпедокл создал учение, согласно которому всё в мире состоит из четырёх стихий — земли, воды, воздуха и огня.

Мысль о существовании первоначала может прийти на основании наблюдений различных природных явлений. На бесконечные вопросы детей о природе вещей обычно отвечают так:

Это что?

Это стул.

А из чего он сделан?

Он сделан из дерева.

А дерево из чего сделано?

Дерево — из дерева и всё!

А это что? Это гвоздь.

А он из чего сделан? Из железа.

А железо из чего сделано?

Железо — из железа и всё!

Но на самом деле дерево не было сделано из дерева. Оно выросло из земли, и его поливали водой. Дерево обрашивалось из земли и воды. Сожгли дерево в огне — осталась зола. Это вновь превращение в землю.

А железо и другие металлы выплавили из руды — земли, нагревая её в огне.

Вода в моря попадает из рек, а в реки она попадает из воздуха в виде дождей. Вот вам «четыре первоначала вещей» — земля, вода, воздух и огонь. Всё в мире из них происходит и в них превращается.

Атомы. Около 500 г. до н. э. древнегреческий философ Левкипп отказался от представлений о существовании неизменных непрерывных материальных первоначал и высказал гипотезу о существовании атомов. Подробно атомистическую теорию разработал его ученик **Демокрит** (ок. 460—370 гг. до н. э.). По Демокриту, всё во Вселенной состоит из мельчайших неделимых и неуничтожимых частиц — атомов, движущихся в пустом пространстве. Атомы отличаются друг от друга лишь формой.

Между взглядами атомистов и представлениями о мире из нескольких непрерывных субстанций есть принципиальные различия. Первое различие заключается в том, что любое тело из непрерывной субстанции можно делить на всё меньшие части бесконечно. Если же любые тела состоят из атомов, то в процессе деления тела на части



Демокрит

Лишь в общем мнении существует цвет, в мнении — сладкое, в мнении — горькое, в действительности же существуют только атомы и пустота.

Демокрит

наконец останется только один атом, и дальнейший процесс дробления станет невозможен. Атомы ве́чны и неизменны при любых взаимодействиях. В этом первая принципиальная особенность атомистической модели устройства мира.

Идею неразрушимости атомов атомисты обосновывали следующим образом. Если бы атомы разрушались при воздействиях тел друг на друга, то через некоторое время все они превратились бы в однообразную мельчайшую пыль, и разнообразие веществ и тел в мире стало бы невозможным.

Второе различие заключается в том, что атомисты признают, что в мире, кроме атомов, существует пустое пространство, в котором атомы могут располагаться и двигаться. Этим объясняется возможность изменения объема тел, проникаемость твердых тел для жидкостей и газов.

Третье различие заключается в том, что атомисты считали все происходящие в мире изменения обусловленными свойствами атомов. Соединения атомов происходят благодаря тому, что у них имеются выступы и впадины, напоминающие крючки (рис. 25.3). Разъединение частиц воды при испарении делает водяной пар невидимым для глаза из-за малости отдельных частичек, как невидим воздух. Соединение частиц воды, произошедшее в небе, делает воду вновь видимой сначала в виде облака, а затем в виде капель дождя, потока воды в реке, морской волны.



Рис. 25.3

Второй принципиальной особенностью атомистической теории является её связь с наблюдениями явлений. Для обоснования своих взглядов атомисты ссылаются на известные явления, из которых можно логически вывести определённые заключения. Опора на наблюдения природных явлений была первым шагом в создании физики как экспериментальной науки.



Найдите

http://class-fisika.narod.ru/7_stroenie.htm (Строение вещества.)



Вопросы

1. Какие наблюдения послужили основой для выдвижения гипотезы об атомном строении вещества?
2. Сформулируйте основные положения атомистической гипотезы.
3. Какие доводы приводили древнегреческие философы-атомисты в обоснование своих утверждений о неразрушимости атомов и разнообразии их форм?
4. Если взять много резиновых мячей и бросить их одновременно в ящики, то после небольшого числа столкновений между собой и со стенками ящика движение мячей прекращается. А молекулы и атомы газов земной атмосферы движутся и сталкиваются уже 4,5 млрд лет и всё не останавливаются. Почему?

§26. Взаимодействие частиц вещества

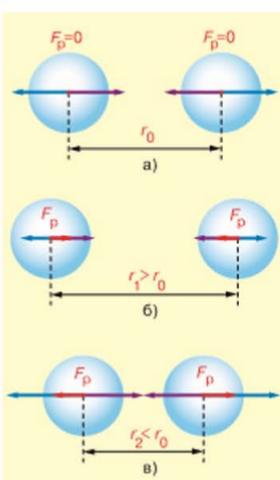


Рис. 26.1

Древнегреческие философы считали, что атомы соединяются между собой особыми крючками. Как же в действительности взаимодействуют атомы и молекулы?

Экспериментальные исследования зависимости сил взаимодействия двух молекул от расстояния между ними показали, что между молекулами действуют силы притяжения и отталкивания.

На некотором расстоянии r_0 (около одной миллионной доли миллиметра), равнодействующая этих сил равна нулю, $F_p = 0$. Действие сил отталкивания (синие стрелки векторов сил на рис. 26.1, а) уравновешивается действием сил притяжения (фиолетовые стрелки векторов сил на рис. 26.1, а). На таких расстояниях друг от друга располагаются молекулы в твёрдых телах и в жидкостях.

Силы молекулярного отталкивания очень быстро убывают с увеличением расстояния между молекулами, силы притяжения тоже убывают с увеличением расстояния между молекулами, но не так быстро, как силы отталкивания. Поэтому на расстояниях r_1 больше r_0 , $r_1 > r_0$, силы притяжения больше сил отталкивания, равнодействующие этих сил F_p отличны от нуля и являются силами притяжения (красные стрелки векторов сил на рис. 26.1, б). На таких расстояниях молекулы притягиваются друг к другу. Этим объясняется противодействие твёрдых тел растяжению.

При сближении молекул увеличиваются как силы отталкивания, так и силы притяжения. Но силы отталкивания с уменьшением расстояния возрастают быстрее сил притяжения. Поэтому на расстояниях r_2 меньше r_0 , $r_2 < r_0$, силы отталкивания больше сил притяжения, равнодействующие этих сил F_p отличны от нуля и являются силами отталкивания (красные стрелки векторов сил на рис. 26.1, в). На таких расстояниях молекулы отталкиваются друг от друга. Этим объясняется противодействие твёрдых тел сжатию.

При исследовании сил взаимодействия между поверхностями твёрдых или жидких тел обнаруживается примерно такая же зависимость сил молекулярного взаимодействия от расстояния.

Почему же при существовании сил молекулярного притяжения не удается из кусков разбитого стакана получить целый стакан? Это не простой вопрос, но в нём можно разобраться.

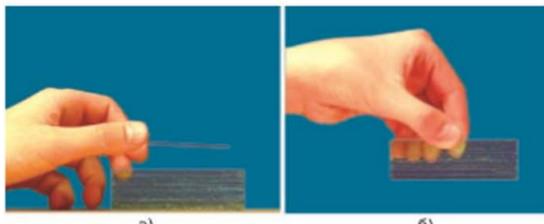


Рис. 26.2

Возьмём стопку стеклянных пластинок и сильно прижмём их друг к другу для сближения на расстояние действия молекулярных сил притяжения. При поднимании верхней пластинки все остальные остаются на столе (рис. 26.2, а). Действие сил притяжения между ними обнаружить не удается.

Смочим поверхности пластинок водой и снова прижмём их друг к другу. Теперь при поднимании верхней пластинки все остальные поднимаются вместе с ней (рис. 26.2, б).

По результатам опытов можно сделать вывод, что стеклянные пластиинки только кажутся абсолютно плоскими. В действительности они не такие плоские и при наложении соприкасаются только наиболее выступающими участками поверхности. Поэтому площадь их соприкосновения оказывается очень небольшой и большинство атомов пластинок находится друг от друга значительно дальше расстояния действия молекулярных сил притяжения.

При смачивании пластинок водой заполняет все промежутки между ними. Вещество верхней пластиинки притягивает молекулярными силами молекулы воды, а молекулы воды притягиваются между собой и притягивают атомы нижней пластиинки.

И всё же попытки соединения двух твёрдых тел в одиночно тело не совсем безнадёжны. В этом можно убедиться, выполнив опыт со свинцовыми цилиндрами. Сначала возьмём два свинцовых цилиндра и приложим один к другому. Никакого молекулярного притяжения не обнаруживается. Теперь острым ножом ровно срезем поверхностные слои свинца с цилиндров и сильно прижмём один цилиндр к другому. Получим другой результат: цилиндры соединились и сила их молекулярного сцепления превышает вес цилиндра (рис. 26.3).

Сцепление хорошо отшлифованных металлических поверхностей иногда происходит в современных машинах и механизмах, что может привести к серьёзным авариям. Этому особенно подвержены механизмы, работающие в открытом космосе, где любые жидкые смазочные материалы между соприкасающимися поверхностями быстро испаряются. Поэтому для космических аппаратов применяются особые смазочные материалы, сохраняющиеся в условиях вакуума.

В следующем разделе курса физики мы выясним природу сил молекулярного взаимодействия. Сейчас лишь назовём их — это силы электрического взаимодействия элементарных частиц, из которых состоят атомы и молекулы.

● Экспериментальное задание 26.1

Работаем самостоятельно

Выполните опыты по обнаружению сил молекулярного притяжения сначала между сухими монетами, затем между монетами, смоченными водой. Объясните результаты этих опытов.



Рис. 26.3



Вопросы

- На каком основании можно утверждать, что между молекулами существуют силы притяжения?
- На каких расстояниях действуют молекулярные силы притяжения?
- Почему сухие стеклянные пластиинки не слипаются, а мокрые слипаются?
- Какие факты доказывают зависимость сил молекулярного взаимодействия от вида атомов или молекул?
- Почему опыт по обнаружению молекулярных сил притяжения удалось выполнить именно со свинцом и только после срезания поверхностного слоя?



Рис. 26.4

Загадка геккона. Гекконы — это небольшие ящерицы. В странах Средиземноморья и на Среднем Востоке они часто обитают в жилищах людей, охотясь за насекомыми (рис. 26.4).

Более 2000 лет тому назад древнегреческий философ Аристотель обратил внимание на удивительную способность гекконов перемещаться по гладким отвесным поверхностям и даже по потолку. За прошедшие столетия многие учёные пытались разгадать загадку необычайной способности лапок гекконов, но успеха достигнуть не смогли. Высказывалось предположение о существовании на пальцах геккона органов, подобных присоскам осьминога, но оказалось, что лапки геккона способны держаться за гладкую поверхность и в вакууме. Не подтвердилось и предположение о способности геккона выделять специальные железами клейкое вещество.

Решение загадки было получено в Калифорнийском университете в 2000 г. при исследовании поверхности лапок геккона с помощью электронного микроскопа высокого разрешения (рис. 26.5). Эти исследования показали, что поверхность пальцев геккона покрыта миллионами микроскопических волосков длиной около 0,002 мм. Каждый волосок на конце разделяется на щетинки толщиной около 0,1 мкм. Эти тончайшие щетинки легко изгибаются и приходят в плотный контакт с любой нервной или очень гладкой поверхностью твёрдого тела. При плотном контакте с поверхностью действуют силы межмолекулярного притяжения. Сила молекулярного притяжения одного волоска очень мала, но миллионы щетинок создают большую силу сцепления. Если бы можно было использовать сразу все 6,5 млн щетинок геккона, то за счёт их силы сцепления человек смог бы удержаться на потолке.

Природа успешно решила задачу не только прилипания, но и отлипания: геккон способен оторвать свои лап-

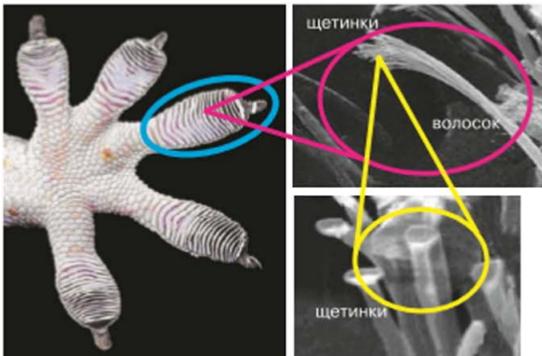


Рис. 26.5

ки от поверхности за 0,015 с. Управление процессом отлипания оказалось очень простым: щетинка легко отделяется от поверхности при наклоне на 30°. При этом для уменьшения необходимых усилий геккон отлепляет щетинки по очереди.

Многие исследователи стали искать способы создания искусственного материала, обладающего свойствами кожи геккона.

В Манчестерском университете (Великобритания) в сотрудничестве с российским Институтом проблем технологий микрэлектроники и особо чистых материалов в г. Черноголовке получили образцы материала, созданного по принципу кожи геккона. Фотография поверхности образца ленты, покрытой множеством гибких волосков длиной 0,002 мм и толщиной 0,0002 мм, представлена на рисунке 26.6. Кусочек такой ленты площадью 2 мм^2 с поверхностью, покрытой искусственными щетинками, удерживал на весу игрушку массой 40 г (рис. 26.7).

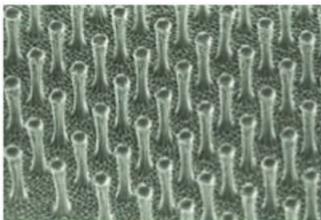


Рис. 26.6

Покрытие такой пленкой две ладони смогут выдержать вес человека. Лента легко отлепляется, если её потянуть за край под углом.

Если подобные материалы удастся производить достаточно дёшево, то можно изготавливать суперлипкие покрытия на подошвы обуви для альпинистов и спасателей, на автомобильные шины для плохой погоды, для создания роботов, способных передвигаться по поверхностям космических станций и скалам на других планетах. Первая модель такого робота создана в Стенфордском университете в США и свободно ползает по вертикальному стеклу в результате действия сил молекулярного притяжения (рис. 26.8).

В случае успешного завершения разработки технологии новых сверхлипучек будет ещё одним примером практического применения результатов научных исследований, на первый взгляд очень далёких от практических нужд людей.



Рис. 26.7



Рис. 26.8



Вопросы

1. Какую загадку загадали учёным гекконы?
2. Какое объяснение дали учёные необычным способностям гекконов?
3. Какие практические применения могут быть у материалов, разработанных с использованием «секрета» гекконов?

§27. Свойства газов

Если кинетическая энергия беспорядочного теплового движения частиц больше работы, которую нужно совершить против действия сил молекулярного притяжения для разделения частиц, то вещество находится в газообразном состоянии. При отсутствии внешних ограничений молекулы газа разлетаются в разные стороны до бесконечности. Ограничить движение молекул газа могут стены сосуда или действие сил гравитационного притяжения.

Экспериментальные исследования показали, что разные вещества переходят в газообразное состояние при различных значениях температуры. Например, водород при нормальном атмосферном давлении превращается в газ при температуре -253°C , кислород — при температуре -183°C , вода — при температуре 100°C . Это означает, что силы молекулярного притяжения зависят от вида молекул. Они значительно слабее между молекулами водорода и кислорода, чем между молекулами воды.

Железо превращается в газ при температуре $+2750^{\circ}\text{C}$, вольфрам, из которого делают нити электрических ламп, — при температуре $+5680^{\circ}\text{C}$. Такие высокие температуры для превращения вещества в газообразное состояние необходимы потому, что атомы железа и вольфрама удерживаются вблизи друг друга в жидком или твёрдом теле не молекулярными силами притяжения, а значительно большими силами межатомного взаимодействия.

Тела в газообразном состоянии не имеют постоянного объёма и формы, газ в сосуде расширяется до заполнения всего предоставленного ему объёма и принимает форму сосуда.

Газы земной атмосферы, газообразное вещество Солнца и звёзд удерживаются от неограниченного расширения действием сил гравитационного притяжения.

В газах расстояния между частицами обычно значительно превышают размеры молекул. Каждая молекула свободно движется до столкновения с другой молекулой или стенкой. Но при попытке уменьшить объём газа в велосипедном насосе или сжать волейбольный мяч мы чувствуем действие силы, препятствующей сжатию газа: при уменьшении объёма газа увеличивается его давление.

Замечательные свойства газов можно обнаружить в опытах с датчиком давления. В первом опыте датчик соединим трубкой с водяным манометром и приложим его чувствительное основание к поверхности горячей воды. При нагревании воздуха в датчике манометр показывает повышение давления (рис. 27.1). В левое колено водяного манометра будем добавлять воду до тех пор, пока уровень воды в правом колене не достигнет начального положения на нуевой отметке шкалы. При этом объём воздуха в датчике и трубке оказывается таким же, каким он был до нагревания, а давление воздуха увеличилось. Этот опыт показывает, что нагревание при постоянном объёме приводит к повышению давления газа.

Bo втором опыте датчик соединим с горизонтально расположенной стеклянной трубкой, в которой находится капля воды, ограничивающая объём воздуха. Когда открытая стеклянная трубка расположена горизонтально, перемещение водяной капли в ней происходит в условиях постоянного давления, равного нормальному атмосферному давлению. Опыт показывает, что при нагревании воздуха в датчике водяная капля перемещается в трубке, обнаруживая увеличение объёма воздуха при постоянном давлении (рис. 27.2). По результатам выполненных опытов

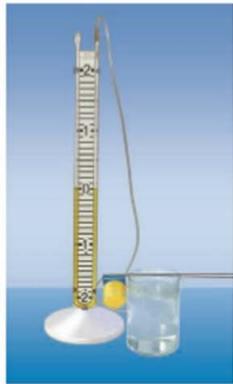


Рис. 27.1

можно сделать вывод, что объём и давление газообразного тела зависят от его температуры.

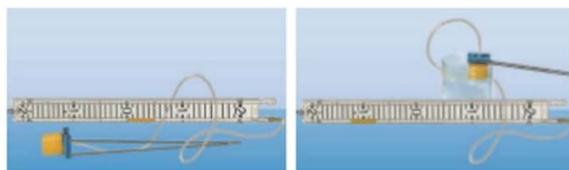


Рис. 27.2

Вопросы

- Между любыми молекулами действуют силы притяжения. Почему же все газы не переходят в жидкое или твёрдое состояние?
- Почему температура превращения жидкостей в газы у разных веществ различна?
- Почему повышается давление газа при уменьшении его объёма при постоянной температуре? при повышении его температуры при постоянном объёме?
- Почему увеличивается объём газа при повышении его температуры при постоянном давлении?

Экспериментальное задание 27.1

Работаем в группе

Исследование зависимости объёма газа от давления при постоянной температуре

Оборудование: пластмассовая трубка с краном, манометр, насос для нагнетания воздуха, соединительные шланги, измерительная лента.

Выполните эксперимент по исследованию зависимости объёма воздуха от давления при постоянной температуре.

В эксперименте исследуемым газом является воздух в пластмассовой трубке 1 (рис. 27.3). Конец трубки плотно закрыт. Трубка частично заполнена водой и соединена с помощью двух других трубок с насосом 4 и манометром 3. При накачивании насосом воздуха в трубку 2 вода в трубке 1 перемещается до тех пор, пока давление воздуха в трубке 1 не станет равным давлению p в трубке 2, которое измеряется манометром. Объём V воздуха в трубке 1 равен произведению длины столба воздуха 1 в трубке на площадь её поперечного сечения S : $V = lS$.

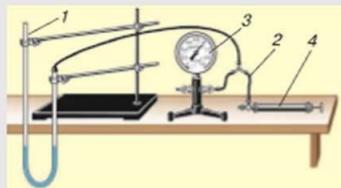


Рис. 27.3

Порядок выполнения задания

1. Измерьте длину столба воздуха 1 в трубке при атмосферном давлении $p = 1$ атм. Затем увеличивайте в каждом новом опыте давление на 0,1 атм до значения давления 1,5 атм, при этом измеряя длину столба воздуха 1 в трубке.

2. Измерьте внутренний диаметр d трубки и вычислите значения объёма V воздуха в каждом опыте по формуле $V = lS$.

3. Вычислите значения произведения объёма V воздуха на давление p . Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу, затем постройте график зависимости объёма V воздуха от давления p .

По результатам эксперимента сделайте вывод о связи между объёмом и давлением газа при постоянной температуре. Если вы справитесь с этой задачей, то самостоятельно откроете закон, который первым открыл английский физик Роберт Бойль в 1661 г. Этот закон называют законом Бойля—Мариотта.

Номер опыта	p , атм	l , см	V , см ³	pV
1				
...				
6				



Роберт Бойль

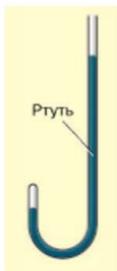


Рис. 27.4

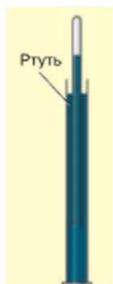


Рис. 27.5

Как объясняются свойства газов. Почему увеличивается давление газа с уменьшением его объёма при постоянной температуре и увеличивается давление газа с повышением температуры при неизменном объёме?

При уменьшении объёма газа число его молекул в единичном объёме увеличивается, поэтому происходит больше ударов молекул в единицу времени на единицу площади поверхности сосуда. Поэтому увеличивается давление газа.

При повышении температуры газа увеличивается скорость теплового движения молекул, при столкновении каждой молекулой действует на стенку сосуда с большей силой. Этим объясняется увеличение давления газа с повышением его температуры при неизменном объёме.

Понижение давления газа с увеличением его объёма при постоянной температуре и с понижением температуры при неизменном объёме объясняйте самостоятельно.

Закон Бойля—Мариотта. Открытие атмосферного давления и изобретение воздушного насоса положили начало систематическим исследованиям физических свойств воздуха и других газов. При выкачивании воздуха из сосуда, в котором находился плотно завязанный пузырь с воздухом, Паскаль обнаружил, что пузырь раздувается по мере понижения давления воздуха в сосуде. Способность газов к неограниченному расширению называли упругостью.

Английский учёный Роберт Бойль решил исследовать свойство упругости воздуха. Вот как он описал свои опыты: «Мы взяли длинную стеклянную трубку, которая у своего конца путём нагревания на лампе была изогнута таким образом, что загнутая часть оказалась параллельной остальной части трубы и отверстие этого, если можно так выразиться, сифона было герметически закрыто. Трубка была разделена на дюймы (каждый дюйм был разделён на 8 частей) при помощи наклеенной узкой бумажки».

В трубку Бойль налил ртуть таким образом, что в её коротком колене был заключён воздух при атмосферном давлении. «Добившись этого, мы стали наливать ртуть в длинное колено сифона. Ртуть свою тяжестью сдавливала воздух в коротком колене. Продолжая подливать, мы добились того, что воздух в коротком колене занимал уже только половину прежнего объёма. Когда мы посмотрели на длинный конец нашей трубы, на которой также была наклеена узкая бумажка с делениями, мы заметили... что уровень в этом колене превышает на 29 дюймов уровень короткого колена» (рис. 27.4).

Ричард Таунли высказал Бойлю предположение, что из полученных им результатов следует обратно пропорциональная зависимость между давлением и объёмом газа. Для проверки этой гипотезы Бойль проделал серию опытов по исследованию свойств воздуха при разрежении. В этих опытах он использовал тонкую стеклянную трубку, запаянную с одного конца и содержащую некоторое количество воздуха, закрытого столбом ртути. Тонкая трубка погружалась открытым концом в более широкую трубку с ртутью. При подъёме тонкой трубки вверх давление воздуха в ней понижалось, объём увеличивался (рис. 27.5). Изменение давления воздуха определялось по

разности уровней ртути в узкой и широкой трубках. Результаты экспериментов подтвердили гипотезу Таунли, и Бойль сформулировал закон: «Упругость воздуха находится в обратном отношении к его объёму». Отдавая приоритет автору гипотезы, он назвал его законом Таунли.

Спустя 15 лет после публикации Бойля француз Эдм Мариотт опубликовал сообщение о результатах собственных опытов, совпадающих с результатами опытов Бойля. Поэтому закон связи между объёмом и давлением газа при постоянной температуре называют законом Бойля—Мариотта:

$$pV = \text{const}, \quad t = \text{const}.$$

Вопросы

- Какими способами Бойль изменял давление воздуха в своих опытах?
- Кого, по вашему мнению, следует признать настоящим автором открытия закона Бойля—Мариотта?

Экспериментальное задание 27.2

Работаем в группе

Измерение атмосферного давления

Оборудование: пластмассовая трубка с краном, измерительная линейка, штатив, вода.

Определите атмосферное давление с помощью имеющегося оборудования.

Порядок выполнения задания

1. Трубку длиной примерно 2 м укрепите с помощью захватов штатива в виде буквы U. Налейте в трубку столько воды, чтобы незаполненными были её части у концов длиной примерно 40 см (рис. 27.6). Закройте кран на конце трубы.

2. Измерьте первоначальную длину столба воздуха l_0 в левом колене трубы от крана до воды при одинаковой высоте уровней воды в трубке. Объём воздуха в трубке равен $V_0 = l_0 S$, где S — площадь поперечного сечения трубы. При одинаковых уровнях воды в левом и правом коленах трубы давление воздуха в трубке равно атмосферному давлению p .

3. Опустите правое колено трубы вниз примерно на 1 м и закрепите в новом положении (рис. 27.7). При этом давление воздуха в трубке уменьшается на $\Delta p = \rho gh$, где h — разность уровней воды в левом и правом коленах трубы; ρ — плотность воды. В результате понижения давления объём воздуха в трубке увеличивается до значения $V_1 = l_1 S$. Расширение воздуха в трубке происходит при постоянной температуре. Поэтому для воздуха в левом колене трубы можно записать уравнение

$$pV_0 = (p - \Delta p)V_1,$$

из этого уравнения можно найти атмосферное давление p :

$$p = \frac{\Delta p V_1}{V_1 - V_0} = \frac{\rho g h l_1}{l_1 - l_0}.$$

Для определения атмосферного давления необходимо измерить первоначальную длину столба воздуха l_0 в левом колене трубы при одинаковой высоте уровней воды в трубке, длину столба воздуха l_1 в левом колене трубы после опускания её открытого правого колена и разность h высот уровней воды в левом и правом коленах трубы.



Рис. 27.6

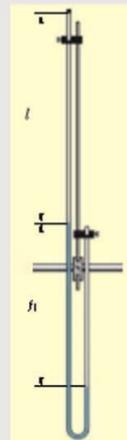


Рис. 27.7

§28. Свойства твёрдых тел и жидкостей



Рис. 28.1

Кристаллы. Многие встречающиеся в природе твёрдые тела имеют форму кубов, параллелепипедов, призм, пирамид. Такие тела называются **кристаллами** (рис. 28.1). Мы употребляем в пищу кристаллы соли и сахара, любуемся кристаллами воды в снежинках (рис. 28.2), катаемся по кристаллам воды на коньках и лыжах.

Строение кристаллов. При ударе многие кристаллы раскалываются на мелкие кристаллы такой же формы, как первичный кристалл. Поэтому некоторые учёные предполагали, что такую же форму имеют частицы, из которых состоят кристаллы. Но было доказано, что разнообразные по форме кристаллы могут быть построены из шарообразных атомов или молекул, расположенных вплотную друг к другу.

В настоящее время созданы приборы, показывающие расположение отдельных атомов в телах. Оказалось, что

атомы в кристаллах расположены в строгом, периодически повторяющемся порядке, на одинаковых расстояниях друг от друга по каждому направлению.

На рисунке 28.3 представлено изображение кончика вольфрамовой иглы с увеличением в 10 млн раз. Каждая светлая точка на фотографии является изображением атома вольфрама.

Взаимодействие атомов в кристаллах. В кристаллах каждый атом располагается в такой точке, где равнодействующая сил со стороны соседних атомов равна нулю. Природа сил взаимодействия между атомами в разных кристаллах неодинакова. Но любые кристаллы ведут себя так, как будто все атомы в них связаны пружинками (рис. 28.4). При сближении атомов возникают силы отталкивания, а при удалении — силы притяжения. Из-за упорядоченного расположения атомов многие свойства кристаллов неодинаковы в различных направлениях. Это свойство кристаллов называется **анизотропией**.

Свойства кристаллов зависят не только от свойств атомов, но и от расположения этих атомов в кристалле. Из одинаковых атомов могут быть построены кристаллы различного вида с различными свойствами. Графит, которым пишут по бумаге, и алмаз, режущий стекло, построены из одинаковых атомов углерода, но их расположение в кристаллах различно (рис. 28.5).

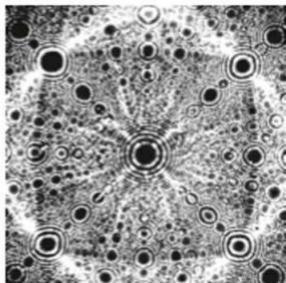


Рис. 28.3

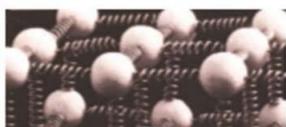


Рис. 28.4

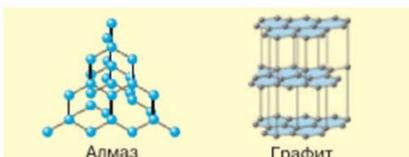


Рис. 28.5

Аморфные тела. При беспорядочном расположении атомов или молекул вплотную друг к другу все физические свойства тел оказываются одинаковыми по всем направлениям. Такие тела называются **аморфными телами**. Примерами аморфных тел являются изделия из стекла, янтаря.

Тепловое движение частиц в твёрдых телах. В твёрдых телах атомы совершают лишь беспорядочные колебания относительно положений равновесия. Поэтому при постоянной температуре объём и форма твёрдого тела не изменяются.

Строение жидкостей. В жидких телах атомы и молекулы расположены вплотную друг к другу, как в твёрдых телах. Но в жидкости, оставаясь прижатыми вплотную друг к другу силами притяжения, молекулы при тепловом движении, кроме колебаний относительно положений равновесия, могут перемещаться относительно друг друга. Поэтому

жидкое тело легко изменяет свою форму, но его объём не изменяется.

В газах молекулы свободно перемещаются до столкновения (рис. 28.6).

Расширение твёрдых и жидких тел при нагревании. При повышении температуры твёрдых и жидких тел не только увеличивается амплитуда колебаний атомов в них, но и увеличиваются средние расстояния между соседними атомами. Поэтому при нагревании и постоянном давлении тела расширяются. Если что-то препятствует расширению твёрдых или жидких тел, то возникают большие силы упругости.

Из общего правила есть редкие исключения. Самое важное для жизни на Земле исключение из этого правила — вода при охлаждении от 4 до 0 °С не сжимается, а расширяется и плотность её уменьшается. Поэтому зимой охлаждённая у поверхности озёр и морей менее плотная вода не опускается вниз, и они не промерзают до дна.

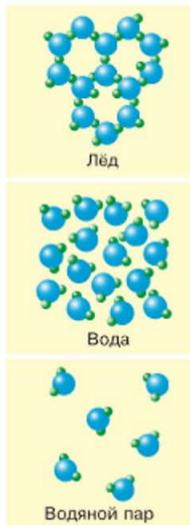


Рис. 28.6

?	Вопросы
1.	В чём заключается главная особенность внутреннего строения кристаллов?
2.	Почему кристаллы сохраняют объём и форму?
3.	Почему жидкости легко изменяют форму, но не изменяют объём?
4.	Какие тела называют аморфными телами?
5.	Чем отличается тепловое движение атомов в жидкостях от теплового движения атомов в твёрдых телах?
6.	Приведите примеры учёта теплового расширения твёрдых тел в технике.
7.	Какие особенности теплового расширения воды являются важными для жизни на Земле?

Экспериментальное задание 28.1

Работаем в группе

Используя оборудование, находящееся на демонстрационном столе (рис. 28.7), выполните опыты по наблюдению расширения твёрдых тел при нагревании. Объясните результаты опытов.



Рис. 28.7



Рис. 28.8



Рис. 28.9



Рис. 28.10

Кристаллы в природе. Кристаллы в природе встречаются повсюду не только зимой в странах с холодным климатом, когда мы ходим по снегу и льду. Вся земная кора состоит из различных кристаллических пород. В песке на берегу реки или моря легко разглядеть отдельные кристаллики.

Но крупные однородные кристаллы встречаются довольно редко. Поэтому многие из них называют драгоценными камнями. Их обрабатывают и используют как украшения. Самый знаменитый из драгоценных камней — алмаз (рис. 28.8). Это не только очень красивый камень, но и самый твёрдый.

Необработанный драгоценный камень не отличить от обычного камня. На рисунке 28.9 показан внешний вид камня и отполированная сторона его разреза, на которой видны группы кристаллов и красивые слои отложений разного цвета.

Появление кристаллов вещества в природе легко понять на примере воды. Снежинки образуются в воздухе из водяного пара при охлаждении ниже 0°C , из водяного пара в воздухе вырастают зимой кристаллы льда на оконных стёклах (рис. 28.10). При такой же температуре жидкую воду на реке превращается в лёд. Так же могут возникать кристаллы и других веществ, но температура таких превращений у каждого вещества своя.

В процессах горообразования и извержения вулканов из глубин Земли выходит расплавленное вещество — магма. В некоторых местах образуются пустоты, в которых расплавленное вещество при медленном охлаждении превращается в крупные кристаллы. Проникающая в трещины камней солёная морская вода после испарения оставляет узоры из кристаллов (рис. 28.11).



Рис. 28.11

Кристаллы встречаются не только в неживой природе. Мелкие кристаллы различных веществ образуются в клетках растений и даже в простейших организмах — амёбах. Многие животные выращивают кристаллы внутри себя или вокруг себя. Моллюск-жемчужница выстилает внутреннюю поверхность своей раковины красивым и прочным слоем мелких кристаллов — перламутром. Перламутром она покрывает и мешающую ей песчинку, попавшую внутрь раковины. Так образуются жемчужины. Кораллы строят свои «жилища» из белых, розовых или красных прочных кристаллов (рис. 28.12). Из «домов» кораллов

постепенно в тропических морях вырастают коралловые острова, которые затем заселяются растениями и наземными животными.

Вырастают кристаллы и в организме человека, например в почке, но это происходит при нарушениях нормальных жизненных процессов. Их размеры сравнимы с размером спичечной головки.

Кристаллы многих веществ очень нужны для изготовления деталей приборов и машин, но в природе встречаются редко и по своим качествам не соответствуют требованиям современных технологий. Поэтому ученые разрабатывают методы промышленного изготовления различных кристаллов.

Одним из первых достижений в искусственном выращивании кристаллов было создание искусственных алмазов. Оказалось, что для превращения обычного графита в кристаллы алмаза нужно нагреть его до температуры 2000 °С при давлении в 100 тыс. раз выше атмосферного. Искусственные алмазы оказались даже прочнее природных алмазов.

Для выращивания кристаллов кремния и германия, необходимых для создания полупроводниковых электронных приборов, в расплавленный материал погружается небольшой кристалл, затем автомат очень медленно поднимает этот кристалл вверх. При этом к кристаллу прирастают всё новые и новые слои постепенно охлаждающегося расплава. Внешний вид нескольких выращенных кристаллов представлен на рисунке 28.13.



Рис. 28.12



Рис. 28.13

● Домашнее экспериментальное задание 28.2

Работаем самостоятельно

Выращивание кристаллов

Порядок выполнения задания

Тщательно вымойте два стакана и воронку. Налейте в стакан горячую дважды прокипячённую воду объёмом примерно 100 мл. Насыпьте в стакан соль, непрерывно перемешивая воду. Когда соль перестанет растворяться, больше её не добавляйте. Полученный раствор слейте через ватный фильтр в воронку в чистый стакан. Поставьте стакан в теплое место и прикройте сверху листом бумаги.

Через сутки слейте раствор через ватный фильтр в чистый, заново вымытый стакан. Среди множества кристаллов, оставшихся на дне первого стакана, выберите кристалл самый чистый, правильной формы и большой по размерам. Опустите этот кристалл в раствор во втором стакане и прикройте стакан листом бумаги.

Во время роста кристалла стакан с раствором следует держать в тёплом сухом месте, где температура в течение суток остаётся постоянной. На выращивание крупного кристалла в зависимости от условий эксперимента может потребоваться от нескольких дней до нескольких недель.

Выращенный кристалл выньте из раствора, тщательно осушите бумажной салфеткой и положите в специальную коробку. Не трогайте кристалл руками, чтобы он оставался прозрачным.

?	Вопросы
1.	Почему кристаллы образуются в растворе при его охлаждении?
2.	Почему кристаллы растут в растворе при постоянной температуре?

● Экспериментальное задание 28.3

Работаем в группе

Наблюдение процесса роста кристаллов

Оборудование: микроскоп, предметное стекло, стеклянная палочка, насыщенные растворы хлористого аммония, щавелевокислого амmonия, поваренной соли, гидрохинона.

Содержание работы

Раствором называют однородную смесь, в которой молекулы одного вещества равномерно распределены между молекулами другого. Растворение одного вещества в другом зависит от природы растворителя, растворяемого вещества и температуры.

Целью эксперимента является наблюдение процесса роста кристаллов в водном растворе. Для этого небольшое количество раствора помещают на предметное стекло под объектив микроскопа. Вода испаряется, и в растворе начинается процесс образования кристаллов. Процесс кристаллизации удобно наблюдать в микроскоп, используя объектив с 8-кратным увеличением и окуляр с 10-кратным увеличением (рис. 28.14).



Рис. 28.14

Порядок выполнения задания

1. Поместите на столик микроскопа предметное стекло. Вращая микрометрический винт, получите чёткое изображение поверхности стекла. Винт следует вращать осторожно, не допуская соприкосновения объектива с предметным стеклом.

2. Нанесите стеклянной палочкой на предметное стекло каплю насыщенного раствора хлористого аммония. Поместите стекло с каплей под объектив микроскопа так, чтобы в поле зрения был виден край капли, потому что первые кристаллы образуются обычно на краю капли.

3. Пронаблюдайте процесс зарождения и роста кристаллов разных веществ. Сделайте зарисовки кристаллов, видимых в микроскоп.

04

Тепловые явления

29	Температура	130
30	Внутренняя энергия	134
31	Количество теплоты. Удельная теплоёмкость	138
32	Теплопроводность. Конвекция. Теплопередача излучением	142
33	Плавление и кристаллизация	146
34	Испарение и конденсация	150
35	Теплота сгорания	156

§29. Температура

Температура и тепловое равновесие. В повседневной жизни люди часто интересуются температурой. Мы следим за температурой воздуха в комнате, на улице перед выходом из дома, измеряем температуру тела, устанавливаем автоматы нагревателей в стиральной машине, в электрической печке для поддержания нужной нам температуры, следим за температурой воды в радиаторе автомобиля и т. д. Что же такое температура? **Температурой** называется физическая величина, являющаяся количественной мерой того, что мы ощущаем при прикосновении к телу как холодное, теплое, горячее.

В основу количественного измерения степени тепла и холода тел положен экспериментальный факт: любые два соприкасающихся тела по прошествии некоторого времени воспринимаются одинаково тёплыми. Поэтому температурой называли физическую величину, принимающую одинаковое значение для любых тел, находящихся достаточно долго в соприкосновении или обменивающихся энергией без непосредственного соприкосновения.

Состояние тел, находящихся в тепловом контакте, при котором не изменяются никакие физические параметры тел, называется состоянием теплового равновесия.

Физический параметр, одинаковый у тел в тепловом равновесии, называется температурой.

Теплопередача. Чем же отличаются друг от друга горячее и холодное тела и что становится у них одинаковым в состоянии теплового равновесия?

Ответы на эти вопросы кажутся почти очевидными. Во время теплового контакта на границе соприкосновения тел происходит взаимодействия атомов. Это приводит к передаче части кинетической энергии атомов горячего тела атомам холодного тела. Такой процесс называется **теплопередачей**. Процесс теплопередачи продолжается до установления теплового равновесия между телами, т. е. до выравнивания их температур.

Связь температуры тела с кинетической энергией теплового движения молекул. Но что же выравнивается в телах при наступлении теплового равновесия? Можно подумать, что выравниваются средние значения скоростей теплового движения частиц тела. И это предположение оказывается правильным, но... только для тел, состоящих из одинаковых атомов или молекул. А что же выравнивается при тепловом равновесии тел, состоящих из разных частиц?

Когда учёные научились измерять скорости и значения кинетической энергии молекул, то оказалось, что **при тепловом равновесии у любых тел одинаковы средние значения кинетической энергии теплового движения молекул**. Отсюда можно сделать вывод, что температура тела определяется кинетической энергией теплового движения молекул тела. Она повышается при увеличении кинетической энергии теплового движения молекул и понижается при уменьшении этой энергии.

Измерение температуры. Для измерения температуры тел используются приборы, называемые **термометрами**. Наиболее широко применяются в повседневной практике жидкостные термометры. На основе расширения жидкости при нагревании основан принцип действия жидкостного термометра. Жидкостный термометр состоит из небольшого сосуда, заполненного жидкостью, и тонкой прозрачной трубки, герметично соединённой с этим сосудом. Жидкость заполняет весь сосуд и часть трубы, воздуха в пространстве над жидкостью нет. В термометрах используются ртуть, спирт (рис. 29.1).

Для измерения температуры термометр приводится в соприкосновение с телом. Если температура тела выше температуры термометра, жидкость в термометре нагревается и расширяется, её уровень в трубке повышается. При соприкосновении термометра с более холодным телом столбик жидкости в трубке укорачивается. Показания на шкале термометра снимаются после установления состояния теплового равновесия между телом и термометром. При тепловом равновесии уровень жидкости в трубке термометра не изменяется.

При измерении температуры по шкале Цельсия за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ принята температура тающего льда, за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ — температура кипящей воды при нормальном атмосферном давлении (рис. 29.2). Шкала от 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ разделена на сто одинаковых отрезков. Изменение уровня жидкости в трубке термометра на одно деление такой шкалы соответствует изменению температуры тела на один градус по шкале Цельсия.

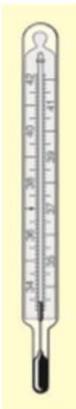


Рис. 29.1

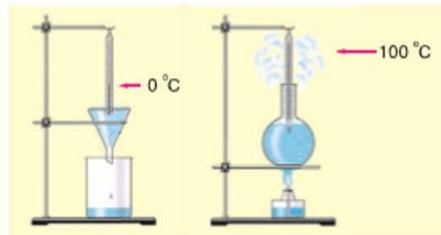


Рис. 29.2

● Домашнее экспериментальное задание 29.1

Работаем самостоятельно

Иследуйте зависимость показаний термометра от места его расположения в комнате. Объясните полученные результаты и сделайте вывод, какие места в комнате непригодны для измерения температуры воздуха термометром и где можно поместить термометр.



Вопросы

1. Что называется тепловым равновесием?
2. Как устанавливается факт существования теплового равновесия?
3. Что такое теплопередача?
4. Как осуществляется теплопередача?
5. Что такое температура?
6. Как связана температура тела с тепловым движением его молекул?
7. Как устроен жидкостный термометр?
8. Как определяются опорные точки шкалы температур по Цельсию?
9. Как нужно измерять температуру тела с помощью термометра?

@ Найдите

[http://class-fisika.narod.ru/
8_1a.htm](http://class-fisika.narod.ru/8_1a.htm) (Температура.)

Что такое теплота. Со времени зарождения физики существовали два принципиально различных представления о природе теплоты. В XVIII–XIX вв. многие учёные объясняли процессы нагревания и охлаждения тел переходами особого вещества — теплорода — из одних тел в другие. Количество теплорода в природе при любых превращениях считалось неизменным. За единицу приняли такое количество теплоты, которое необходимо для нагревания 1 г воды на 1 °C. Это количество теплоты называли **калорией**.

Сторонники атомистического учения считали, что теплорода в природе нет, все тепловые явления объясняются беспорядочным движением атомов.

М. В. Ломоносов предполагал, что «...теплотворная обсебливая материя... есть только один вымысел... причина теплоты состоит во внутреннем вращательном движении связанный материи». Спор о природе теплоты завершился после разработки методов измерения температуры и количества теплоты.



Рис. 29.3

Жидкостный термометр. Один из первых приборов для количественного измерения степени нагретости тел изобрёл Галилео Галилей и назвал его **термоскопом**. Термоскоп состоял из небольшой стеклянной колбы с тонкой стеклянной трубкой (рис. 29.3). Колба согревалась рукой, а трубка опускалась в чашу с водой. При нагревании часть воздуха выходила из колбы, а после того как руку убрали, по мере остывания воздуха, вода поднималась вверх по трубке. Высота подъёма воды служила количественной мерой нагревания термоскопа.

Первый спиртовой термометр был создан в 1657 г. во Флоренции. В 1714 г. голландский физик Фаренгейт ввёл для спиртового термометра шкалу, в которой температура таяния льда имела значение 32 °F, температура тела человека 96 °F, температура кипения воды 212 °F.

Шведский учёный Цельсиус в 1742 г. принял температуру таяния льда за 100 °C, а температуру кипения воды за 0 °C. Позднее было введено обратное направление отсчёта.

Исследования показали, что разные жидкости при одинаковом нагревании расширяются неодинаково. Поэтому наполненные разными жидкостями термометры при соединении показаний при температурах 0 и 100 °C могут давать различные показания при промежуточных значениях температуры. Например, при показании температуры ртутного термометра 50 °C глицериновый показывает температуру 47,6 °C. Зависимость показаний от выбора рабочего вещества является существенным недостатком жидкостных термометров. Поэтому они не применяются для точных измерений температуры.

Газовый термометр. Более точные измерения температуры стали возможны после экспериментального обнаружения одинакового изменения давления любых газов при одинаковом нагревании. Это позволило измерять температуру по показаниям манометра, соединённого с сосу-

дом, заполненным газом (рис. 29.4). Такой прибор называется **газовым термометром**.

Электронный термометр. В настоящее время широко применяются электронные термометры (рис. 29.5). Датчиком температуры в таком термометре служит термопара, состоящая из двух проволок разных металлов. Два конца проволок соединяются вместе, а два других конца подключаются к прибору, измеряющему электрический ток. При нагревании соединенных концов проволок термопары становится источником электрического тока, сила тока пропорциональна разности температур между соединенными и разъединенными концами термопары. Электрический ток от термопары поступает на вход электронного устройства, преобразующего этот сигнал в цифровые показания на жидкокристаллическом дисплее.

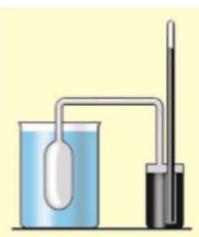


Рис. 29.4

● Проектное задание 29.2

Работаем в группе

Часто на практике необходимо знать максимальное и минимальное значения температуры за некоторый интервал времени. Придумайте конструкцию термометра, способного измерять минимальную и максимальную температуру.

● Домашнее экспериментальное задание 29.3

Работаем самостоятельно

Исследование зависимости показаний термометра от внешних условий

С задачей измерения температуры воздуха в комнате и на улице мы встречаемся каждый день, но далеко не всякий с ней справляется. Во-первых, многие не понимают самой задачи. Особенно это непонимание обнаруживается в жаркие летние дни. Когда метеорологи сообщают, что температура воздуха в тени достигла 32 °С, то многие уточняют примерно так: «А на солнце столбик термометра уходил за отметку 50 °С!» Имеют ли смысл такие уточнения? Для ответа на этот вопрос выполните следующее экспериментальное исследование и сделайте выводы.

Оборудование: настольная лампа, термометр, листы белой и чёрной бумаги.

Исследуйте зависимость показаний термометра от внешних условий.

Для этого измерьте температуру при освещении термометра лампой с расстояния 15–20 см при расположении термометра на листе белой и чёрной бумаги. Затем измерьте температуру при накрывании термометра белой и чёрной бумагой.



Рис. 29.5

§30. Внутренняя энергия



Рис. 30.1



Рис. 30.2



Рис. 30.3

Превращение кинетической энергии беспорядочного теплового движения молекул газа в кинетическую энергию большого тела. Возьмём пластиковую бутылку, закроем её резиновой пробкой со стеклянной трубкой, через шланг присоединим к трубке насос. Пробку закрепим в лапке штатива и будем накачивать в бутылку воздух (рис. 30.1). После нескольких движений поршня насоса раздаётся хлопок и бутылка взлетает вертикально вверх (рис. 30.2). Как это можно объяснить?

В закрытой пробкой бутылке сила давления в результате ударов молекул на любое место боковой стенки равновешивается действием такой же силы давления на противоположную стенку. Сила давления на дно бутылки большие силы давления на поверхность около горла бутылки, так как часть молекул, летящих вниз, ударяет не в стенки бутылки, а в пробку. Поэтому равнодействующая всех сил давления на стенки бутылки направлена вверх. Бутылка находится в покое, пока эта равнодействующая меньше силы трения покоя между пробкой и бутылкой. Когда при повышении давления воздуха в бутылке равнодействующая сила давления становится больше силы трения, бутылка взлетает.

Опыт показывает, что часть кинетической энергии беспорядочного теплового движения молекул может превратиться в кинетическую энергию большого тела — бутылки.

Беспорядочно движущиеся молекулы газа обладают запасом энергии, которая может передаваться другим телам.

Количество теплоты. При соприкосновении тел в результате взаимодействий атомов энергия беспорядочного теплового движения атомов одного тела может передаваться атомам другого тела. Этот процесс называется **теплопередачей**. При теплопередаче кинетическая энергия беспорядочного теплового движения атомов горячего тела уменьшается, температура тела понижается, а кинетическая энергия беспорядочного теплового движения атомов холодного тела увеличивается, его температура повышается.

Энергия, переданная при теплопередаче, называется количеством теплоты Q .

Теплопередача при постоянной температуре. В природе при превращении любой жидкости в твёрдое тело наблюдается особое явление — теплопередача от горячего тела холодному телу без понижения температуры горячего тела. На этом явлении основано использование парафина для лечебного прогревания. Расплавленный парафин при температуре около 50 °C накладывается на нужный участок тела. Пока в течение 20–30 мин парафин превращается из жидкости в твёрдое тело, он грет тело человека, а его температура не изменяется.

Внутренняя энергия. Опыты показывают, что в процессе превращения любого вещества из жидкого состояния в твёрдое происходит теплопередача от горячего тела холодному без понижения температуры горячего тела. Это значит, что атомы тела обладают не только кинетической энергией беспорядочного теплового движения, но и потенциальной энергией их взаимодействия.

При превращении жидкости в твёрдое тело при постоянной температуре энергия выделяется за счёт уменьшения потенциальной энергии взаимодействия частиц.

Сумма кинетической энергии беспорядочного теплового движения атомов или молекул тела и потенциальной энергии их взаимодействия называется внутренней энергией тела.

Работа как способ изменения внутренней энергии тела. При накачивании насосом мяча или камеры велосипеда ощущается повышение температуры воздуха в насосе. Повышение температуры сжимаемого поршнем воздуха означает, что внутренняя энергия тела может изменяться не только при теплопередаче, но и при совершении работы внешних сил над телом.

Изменение внутренней энергии тела при совершении работы внешних сил можно наблюдать в опыте при сжатии воздуха в прозрачном цилиндре. Поместим на дно цилиндра небольшой кусочек сухой ваты и вставим в цилиндр поршень на стержне с пластмассовой рукояткой. При резком ударе ладонью по рукоятке в затемнённом помещении видна вспышка света в цилиндре. Вспышка ваты обусловлена тем, что при сжатии воздуха под действием внешней силы его температура настолько повысилась, что вата воспламенилась (рис. 30.3). Внутренняя энергия газа увеличилась за счёт работы внешних сил.

Два способа изменения внутренней энергии тела — совершение механической работы и теплопередача. Внутренняя энергия тела может изменяться двумя способами — совершением механической работы или теплопередачи. Работа A служит мерой передачи энергии в механических процессах. Количество энергии, переданное путём теплопередачи, называют количеством теплоты Q .

Если над телом совершают работу внешние силы, то внутренняя энергия тела может увеличиваться. Например, в процессе сжатия воздуха в цилиндре двигателя внутреннего горения (рис. 30.4, а) в результате столкновений с движущимися на встречу поршнем скорость теплового движения молекул воздуха увеличивается. Температура воздуха повышается примерно от 30 до 250 °C. В результате работы внешних сил внутренняя энергия воздуха увеличивается.

Если тело совершает работу над внешними телами, его внутренняя энергия может уменьшаться. Например, в цилиндре двигателя внутреннего горения во время рабочего такта нагретый в результате сжигания топлива воздух расширяется, толкает поршень и приводит в движение автомобиль (рис. 30.4, б).

При столкновении с удаляющимся поршнем молекулы отдают ему часть кинетической энергии беспорядочного теплового движения. При этом температура воздуха понижается примерно от 500 до 150 °C. Внутренняя энергия газа в цилиндре уменьшается в результате совершения работы по перемещению поршня.

Изменения внутренней энергии тел путём теплопередачи наблюдаются, например, в процессах нагревания воды электронагревателем, приготовления пищи на газовой плите.

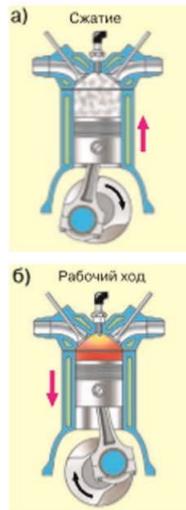


Рис. 30.4

Вопросы

- Как называется энергия, переданная путём теплопередачи?
- Может ли произойти передача энергии в процессе теплообмена от горячего тела холодному без изменения температуры горячего тела?
- Что такое внутренняя энергия тела?
- Может ли произойти изменение внутренней энергии тела без осуществления процесса теплообмена этого тела с другими телами?
- Приведите примеры изменения внутренней энергии тела в результате совершения работы внешних сил над этим телом.
- Приведите примеры использования на практике процессов изменения внутренней энергии тела при совершении работы.

● Экспериментальное задание 30.1

Работаем самостоятельно

Наблюдение изменений внутренней энергии тела в результате теплопередачи и работы внешних сил

Оборудование: термометр, лист бумаги, ластик.



Рис. 30.5

1. Положите термометр на стол и запишите его показания. Термометр показывает свою температуру и температуру воздуха в комнате, с которым он находится в тепловом равновесии.

Зажмите конец термометра в руке и наблюдайте изменение температуры при изменении внутренней энергии термометра в результате процесса теплопередачи (рис. 30.5). Когда установится тепловое равновесие между рукой и термометром (прекратятся изменения температуры), запишите показания термометра.

2. Сложите лист бумагичетверо, вставьте термометр в место ската между слоями бумаги. Прижмите бумагу к столу одной рукой, совершившие с небольшим нажимом несколько движений термометром в складе бумаги (рис. 30.6). Запишите, на сколько градусов повысилась температура термометра в результате совершённой работы. Замените лист бумаги ластиком и повторите опыт (рис. 30.7). Объясните результаты опытов.

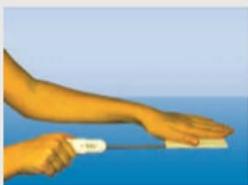


Рис. 30.6



Рис. 30.7

Механический эквивалент теплоты. До конца XIX в. механические и тепловые явления рассматривались в физике как принципиально различные явления. Мерой механического движения была энергия, а мерой теплового движения — количество теплоты. Количество теплоты Q определялось как произведение массы m тела на изменение температуры Δt и коэффициент c , называемый удельной теплоёмкостью вещества:

$$Q = cm\Delta t.$$

Единицей количества теплоты была *калория* (1 кал), равная такому количеству теплоты, которое повышает температуру 1 г воды на 1 °C.

Считалось, что изменение механической энергии тела происходит в результате совершения работы, а изменение количества теплоты — в результате теплопередачи от горячего тела холодному. Связь между работой, определяемой

по измерению силы и пути, и количеством теплоты, измеряемым по показаниям термометра и весов, в физике долго не удавалось установить.

Бенджамин Румфорд в 1798 г. наблюдал, что при сверлении отверстия ствол пушки так сильно нагревался, что закипала охлаждающая его вода. На основании этого наблюдения он пришёл к выводу, что возникающее при трении тепло может непрерывно производиться в неограниченном количестве. Это значит, что теплота не может быть материальной субстанцией. Теплота есть не что иное, как беспорядочное движение частиц.

Английский учёный Джеймс Джоуль в 1843 г. первым экспериментально установил значение механического эквивалента теплоты. Он изготовил прибор, внутри которого на вертикальной оси были укреплены восемь рядов лопастей (рис. 30.8). К боковым стенкам были прикреплены четыре ряда пластин, не мешавшие вращению лопастей, но препятствующие увлечению воды лопастями. Через систему блоков лопасти двумя грузами приводились во вращение.

В результате вращения лопастей температура перемешиваемой воды увеличивалась.

Для измерения работы, совершаемой при вращении лопастей в цилиндре с водой, Джоуль использовал грузы известной массы M , систему блоков и нитей. Измеривуть h , пройденный грузами, можно вычислить работу, совершающую силами тяжести при их перемещении:

$$A = Mgh.$$

По изменению температуры Δt воды и известному значению её массы m Джоуль определил количество теплоты Q :

$$Q = cmt\Delta t.$$

Приравняв совершённую работу A к выделившемуся количеству теплоты Q :

$$A = Q,$$

Джоуль нашёл, что для получения количества теплоты 1 кал сила тяжести, действующая на грузы, должна совершить работу A , равную 4,161 Дж.

Если работа внешних сил затрачивается только на увеличение внутренней энергии тела, то отношение совершённой механической работы в джулях к полученному количеству теплоты в калориях называют **механическим эквивалентом теплоты**. По современным измерениям механический эквивалент теплоты равен 4,187 Дж/кал.



Джеймс Джоуль

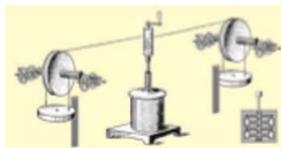


Рис. 30.8

?	Вопросы
1.	Почему при сжатии воздуха в цилиндре автомобильного двигателя повышается его температура?
2.	Какая единица использовалась раньше для измерения количества теплоты?
3.	Что называется механическим эквивалентом теплоты?
4.	В каком опыте Джоуль экспериментально определил механический эквивалент теплоты?
5.	В каких единицах выражается количество теплоты в СИ?

● Проектное задание 30.2

Работаем в группе

Определение механического эквивалента теплоты

Попробуйте придумать и осуществить свой вариант опыта по определению механического эквивалента теплоты.

Проведите коллективное обсуждение предложенных проектов.

§31. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость

Количество теплоты. При теплопередаче изменение внутренней энергии ΔU тела равно полученному количеству теплоты Q :

$$\Delta U = Q.$$

Если при теплопередаче происходит изменение температуры тела, то изменение внутренней энергии ΔU тела пропорционально изменению средней энергии беспорядочного теплового движения частицы вещества и числу частиц в теле. Изменение средней энергии теплового движения частицы пропорционально изменению температуры, а число частиц в теле пропорционально массе тела. Поэтому изменение внутренней энергии ΔU тела при изменении его температуры пропорционально массе m тела и изменению температуры Δt :

$$\Delta U = Q = cm\Delta t. \quad (31.1)$$

Удельная теплоёмкость. Коэффициент пропорциональности c в формуле (31.1) называется **удельной теплоёмкостью** вещества. Из этой формулы получаем выражение для вычисления удельной теплоёмкости:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}. \quad (31.2)$$

При измерении количества теплоты в дюоулях, массы в килограммах и температуры в градусах Цельсия удельная теплоёмкость вещества выражается в *дюоулях на килограмм и градус Цельсия* ($1 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$).

Числовое значение удельной теплоёмкости вещества равно количеству теплоты, вызывающему повышение температуры тела массой 1 кг на 1°C .

В том, что удельная теплоёмкость разных веществ различна, можно убедиться в опыте с несколькими телами одинаковой массы и формы из разных веществ. Нагрев до 100°C цилиндры одинаковой массы и одинакового диаметра, изготовленные из разных металлов, поставим их на пластину из парафина. Горячие цилиндры плавят парафин и погружаются в него до тех пор, пока не остынут до температуры плавления парафина. Опыт показывает, что глубина погружения цилиндров различна. Так как массы цилиндров и изменение их температуры одинаковы, то выделившееся количество теплоты пропорционально удельной теплоёмкости вещества каждого цилиндра (рис. 31.1).

Измерение количества теплоты. Принцип измерения количества теплоты основан на использовании экспериментально установленного факта: при теплообмене между телами уменьшение внутренней энергии горячих тел равно по абсолютному значению увеличению внутренней энергии холодных тел. При теплообмене между двумя телами, изолированными от других тел, количество теплоты, отданное горячим телом, равно количеству теплоты, полученному холодным телом:

$$Q_1 = Q_2, c_1 m_1 (t_1 - t_3) = c_2 m_2 (t_3 - t_2). \quad (31.3)$$

Равенство (31.3) называется **уравнением теплового баланса**. В уравнении теплового баланса c_1 — удельная теплоёмкость горячего тела; m_1 — его масса; t_1 — начальное значение температуры горячего тела; c_2 — удельная теплоёмкость холодного тела; m_2 — его масса; t_2 — начальное значение температуры холодного тела; t_3 — температура тел после наступления теплового равновесия между ними.

Удельная теплоёмкость твёрдых веществ	
Вещество	Удельная теплоёмкость, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$
Алюминий	888
Бетон	880
Вольфрам	134
Дерево (дуб)	2400
Железо	444
Золото	129
Кирпич	880
Лёд (вода)	2100
Медь	383
Олово	225
Платина	134
Пробка	2050
Резина	2090
Свинец	131
Серебро	235
Стекло	790

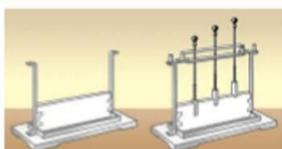


Рис. 31.1

? **Вопрос**
Что называется **удельной теплоёмкостью** вещества?

● Экспериментальное задание 31.1

Работаем самостоятельно

Изучение явления теплообмена

Оборудование: стеклянный стакан, измерительный цилиндр, холодная и горячая вода, термометр.

Рассчитайте температуру t_3 смеси холодной воды массой m_1 с начальной температурой t_1 и горячей воды массой m_2 с начальной температурой t_2 . Проверьте результаты расчёта экспериментально.

Содержание работы

С учётом того, что удельные теплоёмкости горячей и холодной воды одинаковы, из уравнения теплового баланса (31.3) определим температуру t_3 смеси горячей и холодной воды:

$$t_3 = \frac{c(m_1 t_1 + m_2 t_2)}{c(m_1 + m_2)} = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2}{m_1 + m_2}.$$

Порядок выполнения задания

1. Отмерьте измерительным цилиндром 100 см³ холодной воды и вылейте воду в стакан. Измерьте температуру t_2 холодной воды. Результаты измерений запишите в таблицу.

2. Налейте в измерительный цилиндр горячую воду объёмом 50 см³ и измерьте её температуру t_1 . Результаты измерений запишите в таблицу.

3. Вылейте горячую воду в стакан с холодной водой и измерьте температуру t_{3a} смеси. Результаты измерений запишите в таблицу.

4. Вычислите температуру t_{3p} смеси горячей и холодной воды для измеренных значений температуры горячей и холодной воды и для известных значений массы горячей и холодной воды. Результаты запишите в таблицу.

Таблица 31.1

$m_1, \text{ г}$	$m_2, \text{ г}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_{3p}, ^\circ\text{C}$	$t_{3a}, ^\circ\text{C}$

Пример решения задачи

Задача. В тонкостенном стакане находится вода массой $m_1 = 160 \text{ г}$ при температуре $t_1 = 20^\circ\text{C}$. В стакан долили горячую воду массой $m_2 = 40 \text{ г}$. После установления теплового равновесия температура воды в стакане стала равной $t_3 = 36^\circ\text{C}$. Какой была температура t_2 горячей воды? Потери тепла на нагревание стакана и излучение считайте пренебрежимо малыми.

Дано:

$$m_1 = 160 \text{ г} = 0,16 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 40 \text{ г} = 0,04 \text{ кг}$$

$$t_3 = 36^\circ\text{C}$$

$$t_2 = ?$$

Решение:

Запишем уравнение теплового баланса:

$$c_2 m_2 (t_2 - t_3) = c_1 m_1 (t_3 - t_1).$$

Так как $c_2 = c_1$, то

$$t_2 = \frac{m_1(t_3 - t_1) + m_2 t_3}{m_2} = \frac{0,16 \cdot (36 - 20) + 0,04 \cdot 36}{0,04} ^\circ\text{C} = 100^\circ\text{C}.$$

Ответ: $t_2 = 100^\circ\text{C}$.

Задача 31.1. В тонкостенном стакане находилась вода массой 100 г при температуре 25 °C. В воду опустили тело массой 50 г с удельной теплоёмкостью вещества 700 Дж/(кг · °C). После установления теплового равновесия температура воды и тела стала равной 30 °C. Определите начальную температуру тела. Потери тепла на нагревание стакана и излучение считайте пренебрежимо малыми. Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °C).



Вопрос

Почему после смешивания горячей и холодной воды нужно быстро произвести измерение температуры смеси?



Рис. 31.2

Измерения количества теплоты и удельной теплоёмкости вещества. Для измерения количества теплоты используется прибор, называемый **калориметром** (рис. 31.2). Калориметр состоит из двух сосудов, которые вставляются один в другой. Воздух между внешним и внутренним сосудами и крышка используются для теплоизоляции внутреннего сосуда.

Во внутренний сосуд наливается жидкость и помещается исследуемое тело. Если масса внутреннего сосуда калориметра значительно меньше массы налитой в него жидкости и удельная теплоёмкость вещества сосуда мала по сравнению с удельной теплоёмкостью жидкости, то можно считать, что в калориметре происходит теплообмен только между исследуемым телом и жидкостью.

Для экспериментального определения неизвестной удельной теплоёмкости c_1 исследуемого вещества тело массой m_1 из этого вещества нагревают до температуры t_1 и опускают в жидкость с известной удельной теплоёмкостью c_2 и массой m_2 при температуре t_2 . После прекращения изменений температуры жидкости определяется температура t_3 теплового равновесия. Из уравнения теплового баланса получаем формулу для вычисления удельной теплоёмкости вещества горячего тела:

$$c_1 = \frac{c_2 m_2 (t_1 - t_3)}{m_1 (t_3 - t_2)}. \quad (31.4)$$

Измерение удельной теплоёмкости вещества с помощью калориметра возможно только тогда, когда известна удельная теплоёмкость хотя бы одного вещества, с которым может происходить теплообмен в калориметре. Но как определить удельную теплоёмкость первого вещества?

Пока измерения количества теплоты проводили в калориях, этой проблемы не существовало, так как физики просто договорились считать удельную теплоёмкость воды при измерениях массы в граммах и температуры в градусах Цельсия равной единице, т. е. 1 кал/(г · °C). Удельные теплоёмкости всех остальных веществ определялись с помощью калориметра по известной удельной теплоёмкости воды.

После выяснения природы теплоты как меры изменения внутренней энергии тел в результате теплопередачи калория как особая единица количества теплоты оказалась лишней в физике, количество теплоты стали выражать в единицах энергии — джоулях. И тут возникла проблема: как узнать удельную теплоёмкость воды в джоулях на килограммы и на градус Цельсия, чтобы калориметрическим способом выполнять любые измерения количества теплоты?

Но это не новая проблема, а проблема определения механического эквивалента теплоты, которая обсуждалась в предыдущей теме. Экспериментальное определение удельной теплоёмкости какого-либо вещества при повышении его температуры за счёт совершения работы внешних сил и есть определение механического эквивалента теплоты.

Удельная теплоёмкость жидкостей	
Вещество	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг · °C)
Бензин	2050
Вольфрам	136
Вода	4182
Кефир	3770
Ртуть	139
Спирт этиловый	2470

Удельная теплоёмкость газов при постоянном объёме	
Вещество	Удельная теплоёмкость, Дж/(кг · °C)
Азот	745
Водород	10 132
Воздух	720
Кислород	653
Метан	1700
Хлор	356

● Экспериментальное задание 31.2

Работаем в группе

Измерение удельной теплоёмкости вещества

Оборудование: калориметр, термометр, весы с разновесом, металлический цилиндр, измерительный цилиндр, сосуд с горячей водой.

Определите удельную теплоёмкость вещества металлического цилиндра. Удельная теплоёмкость воды равна $4180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Порядок выполнения задания

1. Измерьте массу m_1 цилиндра. Во внутренний стакан калориметра налейте воду массой $m_2 = 100 \text{ г}$ при комнатной температуре. Измерьте температуру t_2 воды в калориметре. Результаты измерений запишите в таблицу.

2. Отдайте цилиндр учителю для нагревания в кипящей воде. Через 5 мин подойдите к учителю, держа калориметр в руке за внешний стакан. После того как учитель опустит в ваш калориметр исследуемый цилиндр, нагретый до 100°C , опустите в калориметр термометр и, дождавшись момента установления теплового равновесия между цилиндром и водой в калориметре, снимите показания термометра t_3 . Результаты измерений запишите в таблицу.

3. По формуле (31.4) вычислите удельную теплоёмкость вещества цилиндра. Результаты вычислений запишите в таблицу.

Таблица 31.2

$m_1, \text{ кг}$	$m_2, \text{ кг}$	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$c_1, \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$

Задача 31.2. В тонкостенном стакане находится вода массой 160 г. После доливания в стакан воды массой 40 г при температуре 100°C температура воды в стакане после установления теплового равновесия стала равной 36°C . Какой была первоначальная температура воды в стакане? Потери тепла на нагревание стакана и излучение считайте пренебрежимо малыми. Ответ выразите в градусах по шкале Цельсия.

Задача 31.3. В тонкостенном стакане находится вода массой 100 г. В воду опустили нагретое до температуры 90°C тело массой 50 г с удельной теплоёмкостью вещества $700 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. После установления теплового равновесия температура воды и тела стала равной 30°C . Определите начальную температуру воды в стакане. Потери тепла на нагревание стакана и излучение считайте пренебрежимо малыми. Удельная теплоёмкость воды $4200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$. Ответ выразите в градусах по шкале Цельсия.

Задача 31.4. Для сравнения удельных теплоёмкостей веществ двух тел *А* и *Б* эти тела были нагреты до температуры 100°C и опущены в два одинаковых стакана калориметров, содержащие одинаковое количество одинаковой неизвестной жидкости. Тело *А* массой 0,2 кг было опущено в калориметр с начальной температурой жидкости 20°C , после установления теплового равновесия температура в калориметре с телом *А* стала равной 25°C . Тело *Б* массой 0,1 кг было опущено в калориметр с начальной температурой жидкости 23°C , после установления теплового равновесия температура стала равной 30°C . У какого из двух тел удельная теплоёмкость вещества больше и во сколько раз?



Вопросы

- Используя таблицы удельных теплоёмкостей твёрдых тел, определите, для нагревания на 1°C 1 кг какого вещества будет затрачено наибольшее количество теплоты.
- Используя таблицы удельных теплоёмкостей твёрдых тел и жидкостей, определите, для нагревания на 1°C 1 кг воды или льда требуется меньшее количество теплоты.
- При каком условии применимо уравнение теплового баланса?
- Как нужно изменить уравнение теплового баланса (31.3) при выполнении экспериментального задания 31.1 для получения более точного результата измерений?

§32. Теплопроводность. Конвекция. Теплопередача излучением

@ Найдите

http://class-fisika.narod.ru/8_3.htm (Теплопередача.)



Рис. 32.1

Теплопроводность. **Теплопроводностью** называется процесс теплопередачи от горячего тела холодному в результате непосредственного взаимодействия атомов или молекул этих тел. За счёт теплопроводности осуществляется передача энергии, например, от горячего чая стакану и от стакана руке, теплопередача вдоль металлического стержня, нагреваемого с одного конца.

Хорошими проводниками тепла являются металлы. При одинаковой разности температур через слой стекла в единицу времени проходит примерно в 500 раз меньшее количество теплоты, чем через слой меди такой же толщины. А через слой шерсти проходит в 20 раз меньшее количество теплоты, чем через слой стекла. Малая теплопроводность шерсти объясняется большим содержанием в ней воздуха. Теплопроводность большинства газов при атмосферном давлении значительно меньше теплопроводности жидкостей и твёрдых веществ.

Различия теплопроводности материалов можно наблюдать в опыте с нагреванием стержней из меди, алюминия и стали, к которым прикреплены пластилиновые гвозди или палочки. При нагревании стержней прикреплённые к ним гвозди отпадают раньше с тех стержней, вещества которых обладает большей теплопроводностью (рис. 32.1).

Конвекция. В газах и жидкостях теплота переносится не только при теплопроводности, но и при конвекции. **Конвекцией** называется процесс переноса теплоты потоками вещества.

Причиной конвекции является расширение жидкостей и газов при нагревании. Явление конвекции в жидкости можно наблюдать в стеклянной трубке в форме квадрата, заполненной водой (рис. 32.2). В трубку бросают несколько кристаллов марганцовки. При нагревании трубки с одного края более тёплая и потому менее плотная вода поднимается вверх, а на её место поступает более плотная холодная вода из нижней горизонтальной трубы. Наблюдается быстрое распространение окраски по всему квадрату.

Теплопередача излучением. Внутренняя энергия тела может изменяться и без непосредственного контакта этого тела с другими телами. С восходом Солнца температура всех тел на освещённой стороне Земли повышается в результате поглощения солнечного излучения — видимого света и невидимых излучений, называемых **электромагнитными излучениями**. Эти излучения проходят от Солнца через почти пустое космическое пространство.

Одной из причин возникновения электромагнитных излучений является тепловое движение частиц, входящих в состав атомов. Тепловое электромагнитное излучение испускают и поглощают все тела. Мощность этого излучения с единицы поверхности тела увеличивается с повышением температуры.

Днём земная поверхность нагревается, потому что получает от Солнца больше энергии, чем излучает. Ночью

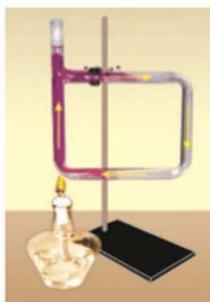


Рис. 32.2

она охлаждается, так как излучает больше энергии, чем поглощает от ночного неба.

Электрические лампы с нагретой до высокой температуры металлической спиралью используются для освещения, электрические приборы с нагревательными элементами — в качестве обогревательных приборов.

Способность тела излучать и поглощать электромагнитные излучения зависит от свойств поверхности тела. Для экспериментального исследования способности тел излучать и поглощать тепловое излучение можно использовать теплоприёмник — небольшую цилиндрическую коробку с тонкими металлическими стенками и пластмассовой ручкой. Одна сторона коробки окрашена чёрной краской, другая — белой. Коробка соединяется резиновой трубкой с манометром.

При приближении чёрной стороны теплоприёмника к горячему телу его излучение поглощается и нагревает коробку. В результате нагревания давление воздуха в коробке повышается, и манометр обнаруживает это повышение давления (рис. 32.3). При повороте теплоприёмника белой стороной к тому же горячему телу изменение давления оказывается очень малым (рис. 32.4). Следовательно, чёрная поверхность поглощает излучение значительно лучше, чем белая.



Рис. 32.3



Рис. 32.4

● Проектное задание 32.1

Работаем в группе

Придумайте, как исследовать зависимость мощности теплового излучения от окраски поверхности тела. Выполните опыты и сделайте выводы.



Вопросы

1. Что такое теплопроводность?
2. Что такое конвекция?
3. Приведите примеры теплопередачи конвекцией и теплопроводностью.
4. От чего зависит способность тел испускать и поглощать тепловое излучение?
5. Приведите примеры теплопередачи излучением.



Рис. 32.5



Рис. 32.6



Рис. 32.7

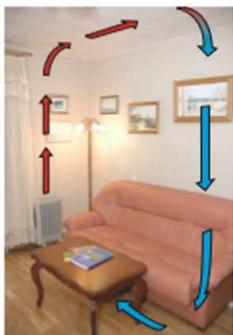


Рис. 32.8

Конвекция в природе. Конвекционный перенос тепла происходит во многих природных процессах. Наиболее знакомы конвекционные процессы, происходящие в земной атмосфере. У нагретой солнцем земной поверхности температура воздуха повышается, он расширяется и из-за уменьшения плотности «всплывает» в верхние слои атмосферы. Унесённые вверх тёплым воздухом пары воды охлаждаются и конденсируются в капли воды или кристаллы льда, образуя облака (рис. 32.5). На место поднимающегося вверх тёплого воздуха приходит более плотный холодный воздух. Так конвекция в атмосфере является причиной переноса воды и образования осадков. Влияние вращения Земли на конвекционные потоки воздуха в атмосфере приводит к образованию гигантских вихрей — циклонов и антициклонов. Перенос тёплого и влажного воздуха циклонами является основным фактором изменения погоды во многих областях земной поверхности.

Конвекция в атмосфере Земли является причиной возникновения ветров и океанических течений. У берегов морей наблюдается ветер, который называется **морским бризом**. Утром бриз возникает потому, что с восходом Солнца суша нагревается быстрее, чем море, нагретый воздух над сушей поднимается вверх. У берега моря образуется область пониженного давления. Туда перемещается холодный и более плотный воздух с моря (рис. 32.6). Вечером бриз дует в обратном направлении, так как с заходом Солнца воздух над сушей остывает быстрее, чем над морем. Более тёплый воздух над морем поднимается вверх, более плотный воздух с суши образует ветер в сторону моря.

Конвекция движет не только облака в атмосфере Земли, но и континенты. Земная кора состоит из 12 частей, называемых **литосферными плитами**. Под земной корой на глубине 70–250 км температура равна примерно 3000 °С. При такой температуре вещество земной коры плавится. В недрах Земли возникают конвекционные потоки расплавленного вещества. Литосферные плиты перемещаются этими конвекционными потоками. Скорость перемещения континентов около 5 см в год. В тех местах, где плиты сталкиваются, земная кора сминается, образуются горы, возникают вулканы (рис. 32.7).

Конвекцией переносится в верхние слои Солнца и звёзд тепло, выделяющееся в их недрах.

Процессы теплопередачи в повседневной жизни. За счёт конвекции воздух осуществляется быстрый перенос теплоты от нагревательных приборов по всем комнатам дома (рис. 32.8), охлаждение продуктов по всему объёму холодильника (рис. 32.9).

Для уменьшения затрат энергии на обогрев жилищ зимой приходится строить дома с толстыми стенами из материалов низкой теплопроводности. Эти же стены защищают людей летом от жары. Зимой нужна одежда для хорошей теплозоляции, а летом — для максимальной теплоотдачи от тела окружающему воздуху и защиты от теплового излучения Солнца.

Когда нужно обеспечить хорошую теплоизоляцию, используют самый лучший теплоизолатор — вакуум. В вакууме нет атомов вещества, поэтому невозможна передача тепла ни теплопроводностью, ни конвекцией. На этом свойстве вакуума основано устройство термоса (рис. 32.10) — сосуда с двойными стенками, между которыми создается вакуум. Для предотвращения теплообмена вещества в термосе со средней стенки термоса имеют зеркальное покрытие, отражающее тепловое излучение.



Рис. 32.9

● Домашнее экспериментальное задание 32.2

Изучение процессов теплопередачи

Порядок выполнения задания

1. Возьмите пластмассовую и металлическую ложки, опустите их в чашку с горячим чаем. Сравните, что обладает большей теплопроводностью: металл или пластмасса.
2. Вырежьте спиральную полоску из бумаги и подвесьте эту спираль на нити (рис. 32.11). Подуйте на подвешенную спираль сверху и определите направление её вращения под действием потока воздуха сверху вниз. Затем подуйте снизу и определите направление её вращения в восходящем потоке. Теперь используйте эту спираль для обнаружения конвекционных потоков воздуха в доме около радиатора водяного отопления, над электрической лампой.

3. Возьмите бутылку и наклейте на одну её сторону чёрную бумагу, а на другую сторону белую алюминиевую фольгу (рис. 32.12). Налейте в бутылку кипяток. Не касаясь бутылки, приблизьте ладонь сначала к её чёрной стороне, затем к белой стороне. Сделайте вывод, зависит ли интенсивность теплового излучения тела от окраски его поверхности. Придумайте эксперимент по обнаружению зависимости способности тел к поглощению излучения от окраски поверхности.



Рис. 32.11



Рис. 32.12



Рис. 32.10

■ **Темы сообщений**

1. Теплопроводность в повседневной жизни.
2. Конвекция в атмосфере Земли.
3. Конвекция в недрах Земли и движение материков.
4. Конвекция воздуха в квартире.
5. Конвекция воздуха в холодильнике.
6. Теплопередача излучением.

§33. Плавление и кристаллизация

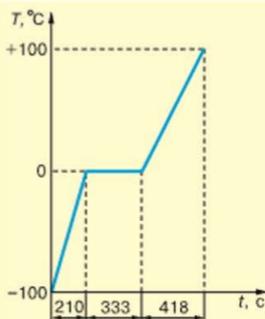


Рис. 33.1

Изменение внутренней энергии тел при плавлении и кристаллизации. Кристаллическое вещество может при определённых значениях температуры и давления перейти в жидкое состояние. Температура, при которой происходит такое превращение, называется **температурой плавления**. Например, температура плавления кристаллов воды (льда) при атмосферном давлении 0°C , кристаллов железа 1539°C , кристаллов азота -210°C .

Что же происходит с веществом при его плавлении и от чего зависит температура плавления? Для ответов на эти вопросы рассмотрим график (рис. 33.1). На этом графике представлено, как с течением времени изменялась температура воды массой $0,1 \text{ кг}$, находившейся в начальный момент в кристаллическом состоянии при температуре -100°C и при постоянной мощности теплопередачи 100 Вт . Из графика видно, что сначала температура льда непрерывно повышалась и через 210 с достигла значения 0°C . Затем в течение 333 с с льда ежесекундно передавалось количество теплоты, равное 100 Дж , но температура тающего льда и воды не изменилась ни на один градус. После того как за 333 с весь лёд расплылся, температура жидкой воды за 418 с повысилась на 100°C .

Полученное от нагревателя в течение 333 с количество теплоты $33\,300 \text{ Дж}$ вызвало превращение воды из кристаллического состояния в жидкое. Эта энергия была израсходована на разрыв прочных связей молекул воды в кристалле.

Отношение количества теплоты Q , необходимого для превращения кристаллического тела в жидкость при температуре плавления, к массе m тела называется **удельной теплотой плавления** λ :

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

Удельная теплота плавления в Международной системе единиц выражается в **джулях на килограмм** ($1 \text{ Дж}/\text{кг}$). Температура вещества в процессе плавления остаётся постоянной, хотя идёт процесс поглощения энергии. Ранее мы выяснили, что температура тела определяется кинетической энергией теплового движения молекул тела. Можно ли сделать вывод, что в процессе превращения вещества из кристаллического состояния в жидкое при неизменной температуре внутренняя энергия тела остаётся неизменной?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим результаты ещё одного опыта. Если взять $0,1 \text{ кг}$ воды при температуре $+100^\circ\text{C}$ и охладить её таким образом, чтобы мощность теплопередачи от воды окружающим телам была постоянной и равной 100 Вт , то изменение температуры воды с течением времени происходит в соответствии с графиком, представленным на рисунке 33.2. Из графика видно, что при одинаковой мощности теплопередачи жидкая вода охлаждалась на 100°C за такое же время, за какое она нагревалась на 100°C , лёд охлаждался на 100°C за такое же время, за какое он нагревался на 100°C . Это означает, что при понижении температуры тело отдаёт

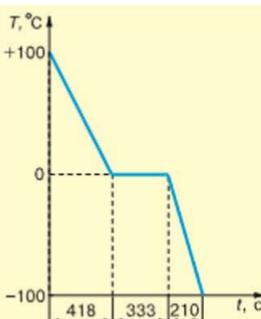


Рис. 33.2

окружающим телам за счёт уменьшения своей внутренней энергии ровно столько энергии, сколько поглотило при нагревании.

Потенциальная энергия взаимодействия частиц твёрдых и жидких тел. Важно заметить, что жидкая вода в процессе превращения в лёд в течение 333 с отдавала энергию окружающим телам по 100 Дж в секунду при неизменной температуре. При кристаллизации вода отдала окружающим телам ровно столько энергии, сколько лёд поглотил в процессе плавления. Значит, энергия, поглощаемая при плавлении кристаллического тела, увеличивает запас внутренней энергии тела и сохраняется в жидком теле. Во время кристаллизации жидкости при постоянной температуре её внутренняя энергия уменьшилась ровно на столько, на сколько увеличилась при плавлении.

Внутренняя энергия твёрдых и жидких тел зависит не только от температуры тела, но и от вида связей между частицами и взаимных расстояний между частицами. Часть внутренней энергии тела, зависящая от взаимных расстояний между частицами, называется **потенциальной энергией**.

Количество теплоты Q_1 , поглощаемое при превращении кристаллического тела массой m в жидкость, равно количеству теплоты Q_2 , выделяемому при превращении этого тела из жидкого состояния в кристаллическое:

$$Q_1 = Q_2 = Q = \lambda m.$$

Задача 33.1. Стакан с водой при температуре 24 °C поставили в морозильную камеру. За 10 мин температура воды понизилась до 8 °C. Сколько ещё минут пройдёт до полного замерзания всей воды, если скорость отдачи тепла будет такой же? Удельная теплёмкость воды 4180 Дж/(кг · °C), удельная теплота отвердевания 334,4 кДж/кг.

Вопросы

- Что называется удельной теплотой плавления вещества?
- Почему при плавлении твёрдого вещества его температура не изменяется?

Тепловые свойства твёрдых тел

Вещество	Температура плавления, °C	Удельная теплота плавления, кДж/кг	Вещество	Температура плавления, °C	Удельная теплота плавления, кДж/кг
Азот	-210	25,9	Никель	1453	306
Алюминий	660	391	Олово	232	60
Вода (лёд)	0	333	Парафин	42–55	147
Водород	-259	58,6	Платина	1769	111
Вольфрам	3420	192	Ртуть	-39	11,7
Железо	1539	246	Свинец	327	25
Золото	1063	63	Серебро	961	105
Кислород	-218	13,8	Цезий	28	15,9
Медь	1083	205	Цинк	420	102

● Экспериментальное задание 33.1

Работаем самостоятельно

Измерение теплоты плавления льда

Оборудование: калориметр, стакан, лёд, измерительный цилиндр, термометр, горячая вода.

Определите удельную теплоту плавления льда.

Содержание работы

Для нахождения удельной теплоты плавления λ вещества нужно измерить количество теплоты Q , переданное твёрдому телу при температуре плавления, и массу m вещества, превратившегося из твёрдого состояния в жидкое. Можно положить в стакан некоторое количество льда при температуре плавления 0 °C и налить столько горячей воды, чтобы в стакане расплавилась только часть льда и температура осталась равной 0 °C. Тогда по измеренным значениям массы m_1 горячей воды, её начальной температуры t_1 , массы m_2 воды, образовавшейся при таянии льда, и известной удельной теплоёмкости с воды можно вычислить удельную теплоту плавления λ льда:

$$m_1 c \Delta t = \lambda m_2, \quad \lambda = \frac{m_1 c \Delta t}{m_2}. \quad (1)$$

Так как начальное и конечное значения температуры льда в опыте одинаковы и равны 0 °C, то изменение температуры Δt горячей воды равно её начальному значению по шкале Цельсия:

$$\Delta t = t_1 - t_2 = t_1 - 0 = t_1.$$

Порядок выполнения задания

1. Положите в стакан примерно 100 г льда. Поместите в стакан со льдом термометр. Когда начнёт плавиться лёд, термометр в стакане со льдом будет показывать температуру около 0 °C (рис. 33.3).

2. Вылейте из стакана со льдом воду, образовавшуюся при плавлении льда.

3. Возьмите учителя горячую воду объёмом примерно 100 см³. Измерьте температуру t_1 горячей воды и вылейте воду в стакан со льдом. Дождитесь установления теплового равновесия в стакане со льдом, при котором температура смеси воды и льда в стакане станет равной 0 °C.

4. Удерживая лёд, вылейте воду из стакана со льдом в измерительный цилиндр. Измерьте объём V воды. Вычтите из объёма V объём V_1 , налитой горячей водой, определите объём V_2 и массу m_2 воды, образовавшейся при плавлении льда: $m_2 = \rho_{воды} V_2$.

5. Вычислите удельную теплоту плавления льда по формуле (1).

6. Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.



Рис. 33.3

Таблица 33.1

$m_1, \text{ кг}$	$t_1, {}^\circ\text{C}$	$V_1, \text{ см}^3$	$V_1, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ см}^3$	$V_2, \text{ м}^3$	$m_2, \text{ кг}$	$\lambda, \text{ Дж/кг}$

● Экспериментальное задание 33.2

Работаем в группе

Исследование тепловых свойств вещества

Оборудование: калориметр, полиэтиленовый пакет, термометр, парафин, секундомер.

Определите удельную теплоту плавления парафина.

Содержание работы

При охлаждении в условиях постоянной мощности теплопередачи окружающим телам температура жидкости убывает до температуры кристаллизации вещества (участок АБ на рисунке 33.4), остаётся постоянной до превращения всей жидкости в кристаллическое вещество (участок БВ) и далее уменьшается со временем (участок ВГ).

При известной мощности N теплопередачи удельную теплоту отверждения λ можно определить по известным значениям массы m вещества и времени Δt_1 его превращения из жидкого состояния в твёрдое при температуре плавления:

$$\lambda = \frac{Q}{m} = \frac{N\Delta t_2}{m},$$

Мощность теплопередачи от тела при известной удельной теплёмкости с жидкости можно найти измерением времени Δt_1 понижения температуры жидкости на ΔT :

$$N = \frac{\Delta Q}{\Delta t_1} = \frac{cm\Delta T}{\Delta t_1}.$$

Отсюда следует, что

$$\lambda = \frac{cm\Delta T\Delta t_2}{m\Delta t_1} = \frac{c\Delta T\Delta t_2}{\Delta t_1}.$$

Чтобы теплёмкость сосуда не влияла на результаты измерений, исследуемое вещество помещают в полиэтиленовый пакет, масса которого пренебрежимо мала.

Порядок выполнения задания

1. Поместите полиэтиленовый пакет с парафином в горячую воду, температура которой 65–70 °C. Дождитесь полного расплавления парафина.

2. Поместите пакет с расплавленным парафином в калориметр, термометр поместите внутрь парафина (рис. 33.5).

3. Измерьте начальную температуру жидкого парафина и одновременно включите секундомер. Далее считывайте показания термометра через 1 мин и заносите данные в таблицу до значения температуры 50 °C.

Таблица 33.2

$t, \text{мин}$							
$T, ^\circ\text{C}$							

4. Постройте график зависимости температуры парафина от времени. Если график показывает, что произошло превращение вещества из жидкого состояния в кристаллическое, то вычислите удельную теплоту кристаллизации парафина. Удельная теплёмкость жидкого парафина 2500 Дж/(кг · °C).

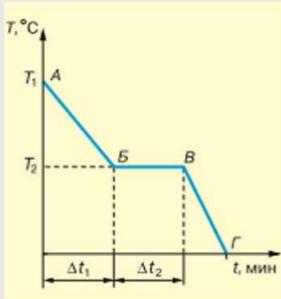


Рис. 33.4

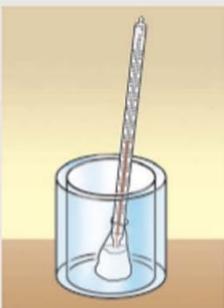


Рис. 33.5

§34. Испарение и конденсация

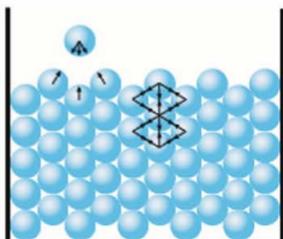


Рис. 34.1

Испарение. У поверхности жидкости или твёрдого тела на атом или молекулу действуют силы притяжения других частиц тела (рис. 34.1). Вылететь с поверхности тела может лишь частица, обладающая кинетической энергией, достаточной для преодоления действия этих сил. Переход вещества из жидкого или твёрдого состояния в газообразное называется **испарением**. Испарение происходит при любой температуре, но интенсивность процесса испарения увеличивается с возрастанием температуры. При испарении с поверхности тела вырываются самые быстрые частицы, средняя энергия теплового движения оставшихся частиц уменьшается, температура понижается.

Переход газообразного вещества в жидкое или твёрдое состояние называется **конденсацией**.

Удельная теплота парообразования.

Отношение количества теплоты Q , необходимого для превращения жидкого или твёрдого тела в пар при постоянных значениях температуры и давления, к массе m тела называется **удельной теплотой парообразования**:

$$r = \frac{Q}{m}.$$

Удельная теплота парообразования в Международной системе единиц выражается в *джоулях на килограмм* (1 Дж/кг). Удельная теплота парообразования равна удельной теплоте конденсации.

Насыщенные и ненасыщенные пары. При некотором значении концентрации молекул пара с поверхности тела вылетает столько же частиц, сколько возвращается на неё из пара. Газ, находящийся в таком равновесии с жидкостью или твёрдым телом, называется **насыщенным паром**. Газ при давлении ниже давления насыщенного пара называется **ненасыщенным паром**.

При уменьшении концентрации молекул пара над поверхностью жидкости скорость испарения жидкости возрастает из-за уменьшения скорости конденсации пара. Поэтому мокрые вещи быстрее сохнут на ветру. В закрытом сосуде процесс испарения жидкости продолжается до тех пор, пока не испарится вся жидкость или пока пар не станет насыщенным. С повышением температуры тело возрастает скорость испарения и повышается давление насыщенного пара.

Кипение. В жидкости и на стенках сосудов обычно имеются маленькие пузырьки воздуха, внутри которых проходит испарение жидкости. Испарение в пузырьках воздуха прекращается при достижении давления насыщенного пара. При повышении температуры жидкости давление насыщенного пара в пузырьках увеличивается. При некотором значении температуры давление насыщенного пара в пузырьках становится равным внешнему давлению на поверхность жидкости. При превышении этой температуры давление насыщенного пара внутри пузырьков превышает значение внешнего давления. Начинается быстрое расширение пузырьков пара внутри жидкости, и пузырьки всплывают. Этот процесс называется **кипением жидкости**.

При кипении при постоянном давлении вся подводимая от нагревателя энергия расходуется на испарение воз-



Найдите

[http://class-fisika.narod.ru/
8_15.htm \(Кипение.\)](http://class-fisika.narod.ru/8_15.htm)

растающего количества жидкости без увеличения энергии теплового движения частиц. Поэтому в процессе кипения температура жидкости не изменяется.

Зависимость температуры кипения от внешнего давления. При повышении внешнего давления на поверхность жидкости кипение начинается при такой температуре, при которой давление насыщенного пара в пузырьках становится равным внешнему давлению. Например, при давлении в 2 раза выше нормального атмосферного давления вода кипит при температуре 120 °С. Об этой особенности воды нужно помнить в повседневной жизни.

Если поставить на кухонную плиту кастрюлю или сковороду с водой под плотно закрывающейся крышкой без отверстия для выхода пара, то давление водяного пара под крышкой будет возрастать по мере нагревания воды и её испарения. Из-за повышения давления вода не закипит при достижении температуры 100 °С. Температура воды будет повышаться, давление насыщенного пара будет возрастать. А далее возможны два варианта: либо при достижении некоторого значения давления пара крышка приподнимется с выбросом облака пара, либо вы научите снимать крышку, и выброс пара произойдёт в этот момент. Ожог паром особенно опасен тем, что водяной пар при соприкосновении с холодной кожей человека конденсируется в воду. При конденсации 1 г пара в воду выделяется количество теплоты, равное 2256 Дж. Это примерно в 10 раз больше, чем передаёт коже 1 г воды при охлаждении от 100 до 50 °С. Об этом нужно помнить и при использовании кастрюли-скороварки.

При понижении внешнего давления температура кипения жидкости понижается. Это можно наблюдать в опыте с закипанием воды в колбе при откачивании воздуха из неё при температуре ниже 100 °С (рис. 34.2).

Зависимость температуры кипения воды от внешнего давления хорошо заметна в горах. На высоте 3 км над уровнем моря атмосферное давление уменьшается до 70 кПа. При таком давлении температура кипения становится равной 90 °С. На вершине горы Эверест вода кипит при 70 °С.

Задача 34.1. На рисунке 34.3 представлена зависимость температуры тела от времени при условии постоянной мощности теплопередачи. В начале процесса теплопередачи тело находилось в кристаллическом состоянии. Объясните, почему при постоянной мощности теплопередачи температура тела в течение двух интервалов времени не изменилась.

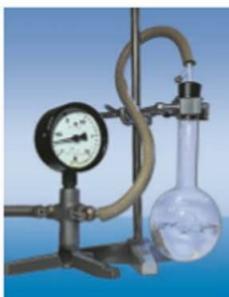


Рис. 34.2



Вопросы

- Испарение с поверхности тел возможно при любой температуре. Почему же все тела до сих пор не испарились?
- Почему охлаждаются тела, с поверхности которых происходит испарение?
- Какой пар называется насыщенным?
- Что называется удельной теплотой парообразования?
- Что называется кипением?
- От чего зависит температура кипения?
- Почему ожог водяным паром особенно опасен?

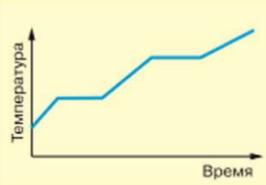


Рис. 34.3

Домашнее экспериментальное задание 34.1

Работаем самостоятельно

Исследование процесса испарения

1. Измерьте термометром температуру воздуха и запишите результат. Намочите водой бумажную салфетку и оберните ею термометр. Через 2–3 мин запишите показания термометра.

2. Помашите в воздухе термометром, обёрнутым мокрой салфеткой, 1–2 мин и запишите показания термометра. Объясните результаты опытов.



Рис. 34.4

Влажность воздуха. Во многих природных процессах и в повседневной жизни человека важную роль играет влажность атмосферного воздуха. **Абсолютной влажностью** p воздуха называется плотность водяного пара в *грамммах на кубический метр* воздуха.

Отношение давления p водяного пара в воздухе к давлению p_0 насыщенного водяного пара при данной температуре равно относительной влажности ϕ воздуха.

Относительная влажность выражается *в процентах*:

$$\phi = \frac{p}{p_0} \cdot 100\%.$$

Когда температура воздуха понижается до значения t_p , при котором содержащийся в воздухе водяной пар становится насыщенным, начинается процесс конденсации воды. Капли воды, образующиеся при таком процессе на листьях растений, называют **росой** (рис. 34.4). Поэтому температуру t_p перехода водяного пара в состояние насыщения называют **точкой росы**. Измерив температуру t_p , при которой образуется роса, — точку росы, можно определить давление p водяного пара в воздухе по таблице.

Уметь измерять влажность воздуха иногда необходимо в быту и на производстве. В воздухе с низкой влажностью с поверхности тела человека происходит интенсивное испарение влаги, высыхают слизистые оболочки дыхательных путей. При относительной влажности 100% прекращается испарение воды с поверхности тела. Это затрудняет терморегуляцию организма. Для человека вреден слишком сухой и слишком влажный воздух. Наиболее благоприятна для человека относительная влажность от 40 до 60%.

Определённый уровень влажности воздуха необходимо поддерживать на ткацком производстве, в библиотеках, музеях, хранилищах произведений искусства.

● Экспериментальное задание 34.2

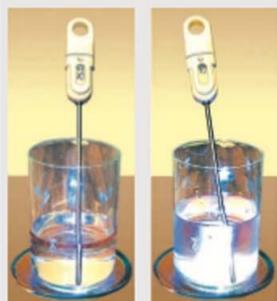


Рис. 34.5

Рис. 34.6

Работаем самостоятельно

Измерение влажности воздуха

Оборудование: стакан, термометр, лёд, вода.

Определите относительную влажность воздуха в комнате.

Порядок выполнения задания

1. Относительную влажность воздуха проще всего определить по точке росы. Для измерения точки росы возьмите стеклянный стакан с тонкими стенками, налейте в него немного воды при комнатной температуре и поместите в воду термометр (рис. 34.5).

2. Измерьте температуру t_1 воздуха, определите давление p_0 насыщенного пара при температуре t_1 .

3. В другом сосуде приготовьте смесь воды со льдом. Из этого сосуда добавляйте понемногу холодную воду в стакан с водой и термометром до тех пор, пока на стенах

стакана не появится роса. Смотреть нужно на стенку стакана напротив уровня воды в стакане. При достижении точки росы стенка стакана ниже уровня воды становится матовой из-за множества мелких капелек росы, которые сконденсировались на стекле (рис. 34.6). Снимите показания t_2 термометра при появлении росы.

4. Определите по таблице давление p насыщенного пара при температуре t_2 . По найденным значениям давления p насыщенного пара при температуре t_2 и давления p_0 насыщенного пара при температуре t_1 определите относительную влажность воздуха ϕ .

Результаты измерений и расчётов запишите в таблицу.

Таблица 34.2

t_1	p_0	t_2	p	ϕ

Давление p насыщенного водяного пара
при различной температуре t

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{ гПа}$	$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{ гПа}$
-20	1,0	20	23,4
-10	2,6	21	24,9
-5	4,0	22	26,4
0	6,1	23	28,1
5	8,7	24	29,8
6	9,4	25	32
7	100,1	26	33,6
8	10,7	27	35,6
9	11,5	28	37,8
10	12,3	29	40,0
11	13,1	30	42,4
12	14,0	40	73,7
13	15,0	50	123,3
14	16,0	60	199,1
15	17,0	70	311,6
16	18,2	80	473,0
17	19,4	90	700,9
18	20,6	100	1013,2
19	22,0	200	15 550

Вопросы

1. Какой пар называют насыщенным?
2. Почему водяной пар в воздухе обычно ненасыщенный?
3. Что называется абсолютной влажностью?
4. Что называется относительной влажностью?

Найдите

[http://class-fisika.narod.ru/
8_16.htm](http://class-fisika.narod.ru/8_16.htm) (Влажность
воздуха.)

Задача 34.2. В электрический кофейник налили воду массой 0,4 кг при температуре 30 °С и включили нагреватель. Через какое время после включения выкипит вся вода, если мощность нагревателя 1 кВт, КПД передачи энергии от нагревателя воде равен 0,8? Удельная теплоёмкость воды 4200 Дж/(кг · °С), удельная теплота парообразования воды 2256 кДж/кг.

Тест 4

Тест предназначен для самоконтроля результатов изучения тем «**Взаимодействие частиц вещества. Свойства газов. Свойства жидкостей и твёрдых тел. Температура. Внутренняя энергия. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость. Теплопередача. Плавление и кристаллизация. Испарение и конденсация. Кипение**».

Работу над заданиями следует проводить так же, как рекомендовано на с. 36 для теста 1.

1. В процессе броуновского движения небольшие твёрдые частицы в жидкостях
 - 1) медленно оседают вниз под действием силы тяжести
 - 2) поднимаются вверх против направления действия силы тяжести
 - 3) беспорядочно совершают небольшие перемещения под действием конвекционных потоков жидкости
 - 4) совершают беспорядочные перемещения под действием ударов молекул жидкости
2. Атомы и молекулы вещества совершают только беспорядочные колебания относительно своих положений равновесия, если вещество находится
 - 1) в твёрдом состоянии
 - 2) в твёрдом или жидком состоянии
 - 3) в твёрдом или газообразном состоянии
 - 4) в твёрдом, жидком или газообразном состоянии
3. В жидкостях молекулы
 - 1) взаимодействуют только при непосредственном соприкосновении
 - 2) взаимодействуют электрическими силами, притягиваясь на больших расстояниях и отталкиваясь на очень малых расстояниях
 - 3) взаимодействуют электрическими силами, отталкиваясь на больших расстояниях и притягиваясь на очень малых расстояниях
 - 4) только притягиваются
4. При переходе воды из жидкого состояния в кристаллическое плотность льда оказывается меньше плотности воды, потому что в кристалле льда
 - 1) образуются пузырьки воздуха
 - 2) расстояния между молекулами меньше, чем в жидкой воде
 - 3) расстояния между молекулами больше, чем в жидкой воде
 - 4) расстояния между молекулами такие же, как в жидкой воде
5. При установлении теплового равновесия между двумя телами у них становятся одинаковыми значения
 - 1) веса
 - 2) массы
 - 3) температуры
 - 4) температуры, массы и веса
6. Если температура газа повышается, то обязательно
 - 1) повышается давление газа
 - 2) увеличивается объём газа
 - 3) увеличивается скорость хаотического движения его частиц
 - 4) повышается давление газа, увеличивается его объём и скорость хаотического движения частиц
7. Чтобы точнее определить температуру горячей воды в стакане, нужно
 - 1) опустить термометр в воду, быстро его вынуть и снять показания
 - 2) опустить термометр в воду и быстро снять показания, не вынимая термометр из воды
 - 3) опустить термометр в воду, подождать 10—15 мин и снять показания, не вынимая термометр из воды
 - 4) опустить термометр в воду, дождаться, когда его показания перестанут изменяться, и снять показания, не вынимая его из воды
8. Два одинаковых сосуда при одинаковых начальных значениях давления и температуры герметично закрыли и стали нагревать. В сосуде А находится воздух, в сосуде Б — воздух, насыщенный паром и немного воды. При одинаковом нагревании давление
 - 1) в сосуде Б повышалось быстрее

- 2) в сосуде *A* повышалось быстрее
 3) в этих сосудах изменялось одинаково
 4) в этих сосудах не изменялось
9. При нагревании в прочном герметично закрытом сосуде вода
- 1) кипит при температуре ниже 100 °C
 - 2) кипит при температуре 100 °C
 - 3) кипит при температуре выше 100 °C
 - 4) не кипит ни при какой температуре
10. Первый стакан с водой нагрели, передав ему количество теплоты 1 Дж, второй стакан с водой подняли вверх, совершив работу 1 Дж. Внутренняя энергия воды при этом
- 1) увеличилась в первом и во втором стаканах
 - 2) увеличилась в первом стакане и не изменилась во втором стакане
 - 3) не изменилась в первом стакане, увеличилась во втором стакане
 - 4) не изменилась ни в первом стакане, ни во втором стакане
11. Зачем оконные рамы делают с двойными стёклами?
- 1) через двойные стёкла в дом входит меньше солнечного излучения летом и больше зимой
 - 2) слой воздуха между стёклами имеет меньшую теплопроводность, чем тонкое твёрдое стекло. Это уменьшает теплоотдачу из дома зимой и теплопередачу в дом летом
 - 3) при двойных стёклах тепловое излучение свободно проходит в дом, но не выходит из него
 - 4) двойные стёкла нужны для прочности
12. В каком из перечисленных случаев передача энергии от одного тела к другому происходит в основном путём конвекции?
- 1) передача энергии от нагретой поверхности Земли верхним слоям атмосферы
 - 2) передача энергии от огня костра человеку
 - 3) передача энергии от горячего утюга разглаживаемой рубашке
 - 4) передача энергии от Солнца поверхности Земли
13. При подъёме влажного тёплого воздуха в верхние, более холодные слои атмосферного воздуха часть водяных паров превращается в капли воды. В этом процессе превращения
- 1) вода поглощает энергию из воздуха
 - 2) водяной пар выделяет энергию и передаёт её воздуху
 - 3) водяной пар поглощает энергию из воздуха
 - 4) вода и водяной пар не поглощают и не выделяют энергию
14. Вещество, находившееся сначала в кристаллическом состоянии, некоторое время нагревали, затем оно остыпало. График зависимости температуры вещества от времени представлен на рисунке Т4.1. Сколько минут в этом эксперименте длился процесс нагревания жидкого вещества?

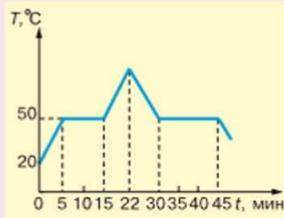


Рис. Т4.1

- 1) 5 мин 3) 8 мин
 2) 7 мин 4) 10 мин

§35. Теплота сгорания

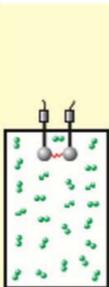


Рис. 35.1

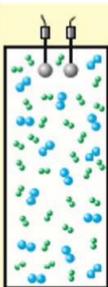


Рис. 35.2

Освобождение внутренней энергии. Мы выяснили, что внутренняя энергия может передаваться от одного тела другому при теплопередаче или при совершении работы. Велики ли запасы внутренней энергии в телах и нельзя ли найти способ извлечения этой энергии для совершения нужной человеку работы?

В современной практической жизни большие запасы внутренней энергии тел используются для совершения работы за счёт теплоты, освобождающейся при сжигании угля, нефти и газа. Что происходит при горении вещества? Рассмотрим самый простой процесс горения — горение водорода.

При температуре выше -253°C и нормальном атмосферном давлении водород находится в газообразном состоянии. Если наполнить водородом сосуд и пропустить через него электрическую искру, то ничего особенного не произойдёт: водород не загорится, не взорвётся (рис. 35.1).

Совсем другой результат получится, если в сосуде смешать 0,01 г газообразного водорода и 0,08 г кислорода. В такой смеси на каждую молекулу кислорода, состоящую из двух атомов кислорода, приходится по две молекулы водорода, состоящие из двух атомов водорода. При смешивании водорода с кислородом ничего особенного не происходит. При атмосферном давлении такая смесь занимает объём примерно 170 cm^3 , один стакан (рис. 35.2).

Но если через эту смесь водорода с кислородом пропустить электрическую искру, то в сосуде произойдёт взрывка и выделится энергия примерно 1200 Дж. Так происходит процесс горения водорода.

Масса сгоревшего водорода всего 0,01 г, а выделившейся при его горении энергии достаточно для того, чтобы поднять человека массой 60 кг на 2 м над поверхностью земли (рис. 35.3)!

А что стало с водородом и кислородом в результате горения водорода? Они исчезли бесследно?

Водорода и кислорода в сосуде не осталось, но зато появился водяной пар. Две молекулы водяного пара возникли в результате разрушения двух молекул водорода и одной молекулы кислорода. При комнатной температуре в смеси газов атомы водорода и кислорода притягиваются друг к другу, но не могут преодолеть действие сил притяжения внутри молекул (рис. 35.4).

При температуре несколько тысяч градусов во время столкновений молекул их кинетической энергии теплового движения оказывается достаточно для разделения некоторых молекул на атомы. Атомы кислорода и водорода соединяются в молекулы воды (рис. 35.5).

Процесс образования молекул нового вещества из молекул других веществ называется **химической реакцией**. В химической реакции образования двух молекул воды выделяется больше энергии, чем было затрачено на разделение молекулы кислорода и двух молекул водорода. Выделившаяся энергия повышает температуру смеси водорода и кислорода, разрушает остальные молекулы водорода и кислорода и образует новые молекулы воды.

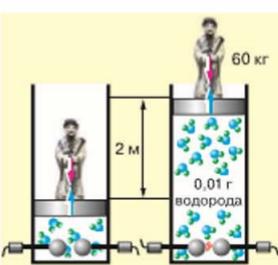
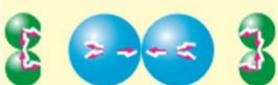


Рис. 35.3



Молекула водорода Молекула кислорода Молекула водорода

Рис. 35.4



Молекула воды Молекула воды

Рис. 35.5

Процесс осуществления химических реакций с выделением энергии, самостоятельно происходящий в веществе, называется **горением**. Искра или другой способ повышения температуры смеси веществ, способных к горению, нужны лишь для начала процесса горения. При очень быстром распространении процесса горения температура вещества повышается до нескольких тысяч градусов, а давление может в десятки тысяч раз превышать атмосферное давление. В результате происходит взрыв.

Большое количество энергии освобождается, например, при сжигании водорода. При этом образуется абсолютно чистый продукт горения — пары воды, что делает водород в недалёком будущем одним из наиболее перспективных горючих для автомобильных двигателей.

Теплота сгорания. Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива, называется **теплотой сгорания** или **теплотворной способностью** вещества.

Удельная теплота сгорания некоторых видов топлива

Вид топлива	q , кДж/кг
Антрацит	30 000
Бурый уголь	15 000
Дрова	12 000
Алюминий	31 000
Магний	25 000
Порох	5000
Твёрдое ракетное топливо	4000
Мазут	40 000
Бензин	44 000
Ацетилен	48 000
Водород	120 000
Природный газ	45 000

Удельная теплота сгорания.

Отношение теплоты сгорания Q к массе m сгоревшего вещества называется **удельной теплотой сгорания** q :

$$q = \frac{Q}{m}.$$

Удельная теплота сгорания выражается *в джоулях на килограмм* (1 Дж/кг). Например, удельная теплота сгорания водорода равна 120 000 кДж/кг. Это значит, что при сжигании 1 кг водорода выделяется количество теплоты 120 000 кДж.

Задача 35.1. При сжигании какой массы газа метана выделяется количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг воды от 0 до 100 °C? Удельная теплота сгорания метана 50 000 кДж/кг. Удельная теплёмкость воды 4,18 кДж/(кг · °C).

Задача 35.2. На какую высоту от начального положения мог бы подняться автомобиль массой 1000 кг по дороге, идущей в гору, если бы вся теплота сгорания при сжигании 10 кг бензина в двигателе расходовалась только на увеличение его потенциальной энергии? Удельная теплота сгорания бензина $q = 44 000 000$ Дж/кг.

Задача 35.3. Объём цилиндра двигателя внутреннего сгорания равен 2,5 л³. Какую массу бензина нужно скечь в таком цилиндре, заполненном воздухом при атмосферном давлении, для нагревания этого воздуха на 300 °C? Удельная теплота сгорания бензина 44 000 000 Дж/кг, удельная теплёмкость воздуха примерно 730 Дж/(кг · °C), плотность воздуха 1,2 кг/м³.

Вопросы

1. Почему водород не горит без кислорода?
2. Почему смесь водорода с кислородом не загорается без искры?
3. Откуда после сжигания водорода в кислороде появляется вода?
4. Каков источник энергии, освобождающейся при горении?
5. Что называется **удельной теплотой сгорания**?

Потребление энергии. Примерно из 400 миллиардов миллиардов джоулей энергии, потребляемой в настоящее время всем человечеством в год, более 90% получается за счёт сжигания угля, нефти и газа. Среднее потребление энергии на одного жителя Земли составляет примерно 180 млн Дж в сутки, а в России потребление энергии на одного человека — в среднем около 700 млн Дж в сутки. Много ли это — 700 млн Дж? Для сравнения вычислим кинетическую энергию искусственного спутника Земли массой 20 кг, движущегося со скоростью 8 км/с:

$$E = 0,5mv^2 = 0,5 \cdot 20 \cdot (8000)^2 \text{ Дж} = 640\,000\,000 \text{ Дж.}$$

Энергии, потребляемой в среднем одним человеком в России за сутки, при использовании без потерь достаточно для запуска на орбиту вокруг Земли искусственного спутника массой 20 кг, а энергии, потребляемой одним человеком за 4 дня, достаточно для сообщения первой космической скорости и самому человеку!

Сравним среднее потребление энергии человеком с его собственными возможностями совершать работу. Работу физически развитого человека можно оценить по его способности подниматься на гору. Тренированный турист или альпинист способен за день подняться на гору высотой 2 км с рюкзаком массой 35 кг. При таком подъёме он совершает полезную работу 700 000 Дж. Такую же работу человек может совершить, перенеся по лестнице на десятый этаж 60 человек, массой по 35 кг каждый.

Если при интенсивной физической нагрузке сильный человек может совершить работу 700 000 Дж, а каждый человек потребляет в среднем за сутки 700 млн Дж энергии, то это значит, что на каждого человека в нашей стране работают различные тепловые машины, выполняющие работу примерно 1000 физически развитых и выносливых людей. Как же работают тепловые машины, обеспечивающие комфортные условия жизни современному человеку?

Тепловые машины. Твёрдые и жидкые тела неспособны эффективно превращать свою внутреннюю энергию в кинетическую энергию больших тел, но они могут передавать её путём теплопередачи газам. Нагретые газы могут легко преобразовывать часть внутренней энергии беспорядочного теплового движения молекул в кинетическую энергию поступательного движения больших тел. Такое преобразование можно наблюдать в опыте с пробиркой.

Возьмём пробирку, капнём в неё каплю спирта и закроем пробкой. Затем поставим пробирку в стакан с горячей водой (рис. 35.6) или подставим её под струю горячей воды из крана. Через несколько секунд пробка с лёгким хлопком вылетит из пробирки. Часть внутренней энергии горячей воды была передана теплопередачей пробирке, от пробирки воздуху и спирту в пробирке. При нагревании спирт превращается в пар, давление воздуха и паров спирта в пробирке становится выше атмосферного давления. Под действием силы избыточного давления пробка вылетает. Увеличение кинетической энергии пробки произошло за счёт уменьшения сначала внутренней энергии горячей воды и затем газа в пробирке. Мы на-



Рис. 35.6

блюдали пример превращения внутренней энергии газа в кинетическую энергию пробки.

Двигатели внутреннего сгорания. В большинстве тепловых машин первым этапом работы является процесс сжигания топлива. При сжигании топлива происходит превращение химической энергии топлива во внутреннюю энергию беспорядочного теплового движения молекул газа. Внутренняя энергия нагретого газа может превращаться в кинетическую энергию движения твёрдых тел. Подобно тому как нагретый газ выталкивает пробку из пробирки, в цилиндре двигателя внутреннего сгорания автомобиля нагретый до высокой температуры за счёт сжигания топлива воздух движет поршень. Поршень через шатун приводит во вращение коленчатый вал и далее через систему валов и зубчатых передач вращает колёса автомобиля (рис. 35.7).

Двигатель внутреннего сгорания может применяться для выработки электрической энергии с помощью электрогенератора.

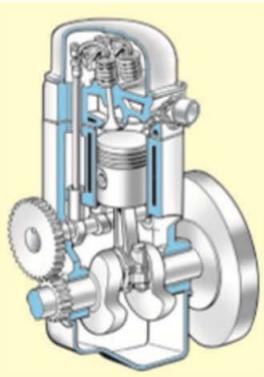


Рис. 35.7

Индивидуальное задание

Подготовка к семинару или конференции на тему «Паровые машины».

- Выберите интересную для вас тему и согласуйте свой выбор с учителем физики.
- Используя Google или другую поисковую систему, найдите фотографии и рисунки по избранной теме. Например, интересные материалы об истории изобретения паровых машин можно найти по адресу <http://www.critical.ru/critical/calendar/1901watt.htm> (19 января 1736 г.) Посмотрев несколько статей, выберите из них соответствующие вашей теме.
- Составьте план сообщения. Подготовьте текст сообщения с использованием отобранных материалов, фотографий, рисунков. Ваше выступление будет тем успешнее, чем больше будет в презентации красочных иллюстраций и меньше текстов для чтения.

Подсказка. По теме 1 можно подготовить сообщение о машинах Герона и результатах самостоятельного изготовления одной из машин Герона с демонстрацией действующей модели. Если для опыта будет выбран золотник Герона, то для безопасности эксперимента его желательно изготовить из металла.

Темы сообщений

1. Паровые машины Герона Александрийского.
2. Паровая машина Ньюкомена.
3. Легенда о мальчике Гемфири Потере.
4. Паровая машина И. И. Ползунова.
5. Паровая машина Д. Уатта.
6. Паровые турбины и их применение.



Итоговый тест

- Перед вами три предложения:
 А. В летний солнечный день человек увидел, что птица в небе расправила крылья и парит в воздухе.
 Б. Он подумал: «Может быть, птица не падает без взмахов крыльев, потому что нагретый воздух поднимается от земли вверх и поддерживает её?»
 В. Человек сорвал одуванчик, дунул на него и стал смотреть за полётом семян одуванчика с пушистыми верхушками, чтобы проверить своё предположение.
 В каком из предложений содержится описание гипотезы и в каком — описание опыта?
 1) А — описание гипотезы,
 Б — описание опыта
 2) Б — описание гипотезы,
 В — описание опыта
 3) В — описание гипотезы,
 Б — описание опыта
 4) А — описание опыта,
 Б — описание гипотезы
- В жаркий летний день на голубом небе возникает и разрастается белое облако. Какое физическое явление при этом происходит?
 1) конденсация водяного пара
 2) кипение воды
 3) испарение воды
 4) превращение воды в воздух
- На рисунке И1 изображены траектории одной и той же точки, находящейся на покрышке колеса велосипеда, относительно разных тел отсчёта. С каким телом отсчёта был связан наблюдатель, зафиксировавший траекторию точки А?

Рис. И1

- 1) с ободом колеса
 2) с осью колеса
 3) с землёй сбоку от едущего по горизонтальной дороге велосипеда
 4) с любым из трёх тел отсчёта, перечисленных в ответах 1—3
- По графику (рис. И2) определите скорость движения тела в интервале времени от конца первой секунды до конца четвёртой секунды.

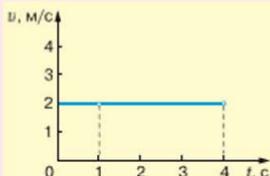


Рис. И2

- 1) 0
 2) 0,5 м/с
 3) 1 м/с
 4) 2 м/с
- По графику (см. рис. И2) определите путь, пройденный телом в интервале времени от конца первой секунды до конца четвёртой секунды.
 1) 2 м
 2) 3 м
 3) 6 м
 4) 8 м
- По графику (рис. И3) определите путь, пройденный телом в интервале времени 0—9 с.

Рис. И3

- 1) 72 м
 2) 16 м
 3) 8 м
 4) 8/9 м
- По графику (см. рис. И3) определите модуль скорости в интервале времени 7—9 с.
 1) 8 м/с
 2) 7,5 м/с
 3) 8/9 м/с
 4) 0,5 м/с
- По графику (см. рис. И3) определите, сколько секунд тело двигалось в интервале времени 0—9 с.
 1) 9 с
 2) 8 с
 3) 6 с
 4) 3 с
- Тело двигалось прямолинейно со скоростью \vec{v} . Как оно будет двигаться, если в некоторый момент времени действия всех сил на это тело прекратится, а равнодействующая сила станет равной нулю?
 1) тело мгновенно остановится

- 2) тело будет падать
 3) тело будет двигаться прямолинейно и равномерно со скоростью \vec{v}

10. Массы сплошных однородных шаров (рис. И4) одинаковы. Какой из этих шаров сделан из вещества с наименьшей плотностью?

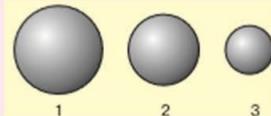


Рис. И4

- 1) 1
 2) 2
 3) 3
 4) плотность вещества всех шаров одинакова

11. Катер вышел из устья реки в море. Как изменилась при этом сила тяжести, действующая на катер?

- 1) не изменилась
 2) увеличилась
 3) уменьшилась

12. Ребёнок стоит на весах. Показания весов 98 Н. Чему равны масса ребёнка, его вес и к какому телу приложена сила веса?

- 1) масса 10 кг, вес 98 Н, сила веса приложена к весам
 2) масса 98 кг, вес 10 Н, сила веса приложена к ребёнку
 3) масса 10 кг, вес 98 Н, сила веса приложена к ребёнку
 4) масса 98 кг, вес 10 Н, сила веса приложена к весам

13. Сила, возникающая при попытке сдвинуть одно тело относительно другого и препятствующая его перемещению, называется силой трения покоя. В каком(их) из перечисленных случаев действует сила трения покоя?

- А. Автомобиль стоит на дороге.
 Б. Человек шагает по земле.
 В. Груз скользит по наклонной плоскости.
 1) только в случае А
 2) только в случае Б
 3) только в случае В
 4) в случаях А и Б
 5) во всех трёх случаях

14. Две силы F_1 и F_2 приложены к одной точке А и направлены по линиям AB и AC (рис. И5). Модуль силы F_1 равен 3 Н. Вектор равнодействующей этих сил направ-

лен вдоль прямой AD. Длина стороны клетки на рисунке соответствует 1 Н. Определите модуль равнодействующей силы F_3 .

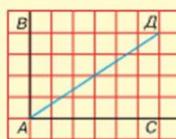


Рис. И5

- 1) 3 Н 3) 5 Н
 2) 4 Н 4) 7 Н

15. Чему равно давление доски сноубордиста на горизонтальную поверхность снега, если площадь доски равна $0,2 \text{ м}^2$, а вес сноубордиста вместе с доской 980 Н?

- 1) 20 Па 3) 500 Па
 2) 196 Па 4) 4900 Па

16. Для того чтобы в безветренную погоду воздушный шар мог зависнуть над одной и той же территорией и на одной и той же высоте, воздух внутри шара подогревают. Какого соотношения между силой тяжести mg и силой Архимеда F_A , действующими на шар, добиваются пилоты шара?

- 1) $F_A = mg$ 3) $mg > F_A$
 2) $mg < F_A$

17. Прозрачную бутылку наполовину наполнили водой, закрыли пробкой и горлышко бутылки опустили в сосуд с водой. Пробку вынули под водой и увидели, что не вся вода вылилась из бутылки, а часть воды осталась в бутылке. Что произойдёт с уровнем воды внутри бутылки, если атмосферное давление повысится?
 1) понизится
 2) повысится
 3) не изменится

18. U-образную пластиковую трубку частично заполнили водой до одинакового уровня в обоих коленах (рис. И6, а). Один конец трубки закрыли герметично пробкой, а открытый конец подняли на 1 м (рис. И6, б). В результате уровня воды в коленях трубки стали различаться на высоту столба воды h . Чему равно давление p_1 на воду со стороны воздуха в левом колене и давление p_2 на воду со стороны воздуха в правом колене трубки во втором случае (см. рис. И6, б)?

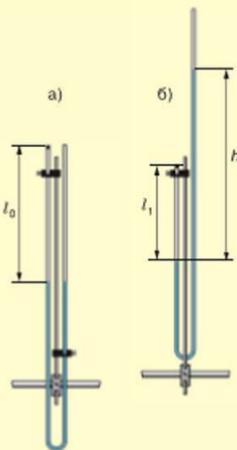


Рис. И6

- 1) $p_1 = p_2 = p_{\text{атм}}$
- 2) $p_1 = p_{\text{атм}}, p_2 = p_{\text{атм}} + \rho gh$
- 3) $p_1 = p_{\text{атм}} + \rho gh, p_2 = p_{\text{атм}}$
- 4) $p_1 = p_{\text{атм}} - \rho gh, p_2 = p_{\text{атм}}$
- 5) $p_1 = p_{\text{атм}}, p_2 = p_{\text{атм}} - \rho gh$

- 19.** Мыльный пузырь поднимается в воздухе вверх. Какое соотношение между силой тяжести mg и силой Архимеда F_A , действующими на мыльный пузырь, верно для этого явления?
- 1) $F_A > mg$
 - 2) $F_A < mg$
 - 3) $F_A = mg$
 - 4) сила Архимеда в этом случае на мыльный пузырь не действует

- 20.** Для определения центра тяжести диска провели два опыта. На краю диска просверлили три отверстия A , B и C (рис. И7). В первом опыте диск надели на горизонтальный стержень за отверстие A . Затем навесили на тот же стержень отвес (нить с грузом). В положении равновесия на диске провели линию AB вдоль нити отвеса. Во втором опыте поступили аналогично, подвесив диск за отверстие C . Вдоль второго положения нити отвеса провели линию CD . Через какую точку пройдёт нить отвеса, если диск надеть на горизонтальный стержень за отверстие B ?

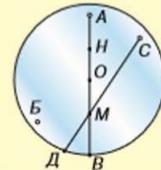


Рис. И7

- 1) через точку A
 - 2) через точку H
 - 3) через точку O
 - 4) через точку M
- 21.** Кошка и собака бегут так, что кинетическая энергия кошки равна кинетической энергии собаки. Скорость кошки 10 м/с, масса кошки 2 кг. Масса собаки 8 кг. Чему равна скорость собаки?
- 1) 10 м/с
 - 2) 5 м/с
 - 3) 2,5 м/с
 - 4) 1,25 м/с

- 22.** Какой полезной мощностью обладает человек массой 50 кг, который увеличил свою скорость от 0 до 10 м/с за 5 с бега?

- 1) 25 000 Вт
- 2) 1250 Вт
- 3) 1000 Вт
- 4) 500 Вт

- 23.** Бруск массой m под действием силы F , направленной параллельно наклонной плоскости, перемещается равномерно и прямошлифно вверх по наклонной плоскости на расстояние l и при этом поднимается на высоту h от первоначального положения. Чему равна полезная работа A_n и затраченная работа A_z ?

- 1) $A_n = mgh, A_z = Fl$
- 2) $A_n = Fl, A_z = mgh$
- 3) $A_n = mgl, A_z = Fh$
- 4) $A_n = Fh, A_z = mgl$

- 24.** При свободных колебаниях на пружине шар периодически максимально удаляется от положения равновесия на 5 см вниз и на 5 см вверх. Расстояние от крайнего верхнего положения до крайнего нижнего положения шар проходит за 0,5 с. Чему равны амплитуда σ колебаний и период колебаний T шара?

- 1) $\sigma = 5 \text{ см}, T = 0,5 \text{ с}$
- 2) $\sigma = 5 \text{ см}, T = 1 \text{ с}$
- 3) $\sigma = 10 \text{ см}, T = 0,5 \text{ с}$
- 4) $\sigma = 10 \text{ см}, T = 1 \text{ с}$

- 25.** При растворении сахара в воде происходит диффузия молекул сахара в воде. Что происходит при этом с молекулами сахара?

- 1) молекулы сахара соединяются с молекулами воды
 2) молекулы сахара проникают в промежутки между молекулами воды
 3) молекулы сахара разрушают часть молекул воды
 4) молекулы сахара проникают внутрь молекул воды
- 26.** Какое(ие) из перечисленных свойств характерно(ы) для тел в газообразном состоянии?
- тело не имеет постоянного объёма.
 - тело не имеет постоянной формы.
 - При отсутствии внешних воздействий молекулы тела разлетаются до бесконечности.
- только А
 - только Б
 - только В
 - ни одно из перечисленных
- 27.** В каком процессе изменение внутренней энергии тела вычисляется по формуле $Q = cmt\Delta t$?
- в процессе теплообмена
 - в процессе горения
 - в процессе плавления
 - в процессе парообразования
- 28.** Какой(ие) вид(ы) теплопередачи не сопровождается(ются) переносом вещества?
- только излучение
 - только конвекция
 - только теплопроводность
 - излучение, конвекция и теплопроводность
 - излучение и теплопроводность
- 29.** Какой теплоизолятор используется в термосах?
- воздух
 - искусственная вата
 - вакуум
 - пенопласт
- 30.** В каком из перечисленных случаев энергия передаётся от одного тела к другому в основном излучением?
- при накладывании грелки с горячей водой на тело больного человека
 - при нагревании воздуха в комнате от радиатора водяного отопления
 - при нагревании шин автомобиля в результате торможения
 - при нагревании земной поверхности Солнцем
- 31.** Удельная теплёмкость воды равна 4200 Дж/(кг · °С). Чему равно количество теплоты, полученное 2 кг воды при нагревании на 2 °С?

- 1) 1050 Дж 3) 4200 Дж
 2) 2100 Дж 4) 16 800 Дж
- 32.** В калориметре находилась вода массой 100 г при температуре 100 °С. Затем в него долили воду при температуре 40 °С. При наступлении теплового равновесия температура смеси воды стала равной 80 °С. Чему равна масса долитой воды? Теплёмкость калориметра считайте пренебрежимо малой.
- 250 г
 - 200 г
 - 50 г
 - 20 г
- 33.** На рисунке И8 показан график зависимости температуры воды от времени при нагревании от -100 до +100 °С с постоянной мощностью теплопередачи. Какое время длился процесс плавления льда?
-
- Рис. И8
- 961 с
 - 418 с
 - 333 с
 - 210 с
- 34.** Когда бельё на открытом балконе высохнет быстрее?
- в безветренный день
 - в ветреный день
 - во время дождя
 - высыхание белья не зависит от погоды
- 35.** Для определения удельной теплёмкости вещества используется калориметр. Он состоит из двух цилиндрических стаканов, вставленных один в другой, между которыми имеется небольшой промежуток. В какой из двух стаканов калориметра нужно налить воду для проведения измерений?
- во внешний стакан
 - во внутренний стакан
 - в промежуток между внутренним и внешним стаканами
 - в любой из двух стаканов

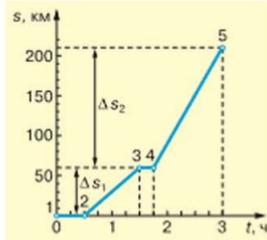
Ответы к задачам

5.1. 36 км/ч. 5.2. 20 м/с. 5.3. 150 км/ч. 5.4. 90 км/ч. 5.5. 10 с.

5.6. 100 км/ч.

6.1. Автомобиль двигался неравномерно, его скорость уменьшилась.
 $v_{\text{ нач}} \approx 31 \text{ км/ч}$, $v_{\text{ кон}} \approx 23 \text{ км/ч}$. 6.2. $v_{\text{ср}} \approx 28,5 \text{ км/ч}$.

7.1.



7.2. $v_{0-0,5} = 0$,

$$v_{1-1,5} = \frac{50}{0,5} \text{ км/ч} = 100 \text{ км/ч},$$

$$v_{3-4} = \frac{25}{1} \text{ км/ч} = 25 \text{ км/ч}.$$

9.2. $\rho_{\text{ воздуха}} = \frac{m}{V} = \frac{45 \text{ кг}}{500 \text{ м}^3} = 0,09 \text{ кг/м}^3$, $\frac{\rho_{\text{ воздуха}}}{\rho_{\text{ воздуха}}} = \frac{1000 \text{ кг/м}^3}{0,09 \text{ кг/м}^3} = 11111$.

10.1. $F = m \frac{v}{t}$, $m = \frac{Ft}{v} = \frac{30 \cdot 0,5}{15} \text{ кг} = 1 \text{ кг}$.

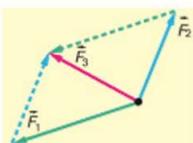
10.2. $F = m \frac{v}{t}$, $v = \frac{Ft}{m} = \frac{40 \cdot 0,5}{2} \text{ м/с} = 10 \text{ м/с}$. 10.3. $t = \frac{mv}{F} = \frac{10 \cdot 20}{500} \text{ с} = 0,4 \text{ с}$.

10.4. $t = \frac{mv}{F} = \frac{2000 \cdot 20}{8000} \text{ с} = 5 \text{ с}$. 10.5. $F = m \frac{v}{t}$, $v = \frac{Ft}{m} = \frac{700 \cdot 0,5}{70} \text{ м/с} = 5 \text{ м/с}$.

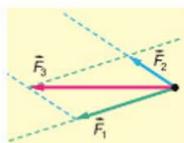
11.1. $m = \frac{F}{g} = \frac{1,96}{9,8} \text{ кг} = 0,2 \text{ кг}$. 11.2. $F_t = 9,8 \cdot 50 \text{ Н} = 490 \text{ Н}$.

11.3. $m = \frac{F}{g} = \frac{49}{9,8} \text{ кг} = 5 \text{ кг}$. 11.4. $P = F_v$, $P = 9,8 \cdot 10 \text{ Н} = 98 \text{ Н}$. Сила тяжести приложена к арбузу. 11.5. $P = F_v$, $P = 9,8 \cdot 6 \text{ Н} = 58,8 \text{ Н}$. Сила веса \vec{P} приложена к Земле. 11.6. $F_t = 9,8 \cdot 500 \text{ Н} = 4900 \text{ Н}$. 11.7. $F_t = 9,8 \cdot m = 9,8 \cdot 100 \text{ Н} = 980 \text{ Н}$.

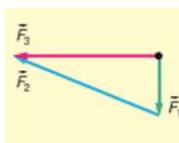
13.1.



13.2.



13.3.



14.1. $F_1 = P = \frac{1,75 \cdot 12}{20} \text{ Н} \approx 1,05 \text{ Н}$. 14.2. $I_2 = \frac{F_2 h}{F_1} = \frac{5 \cdot 12}{10} \text{ см} = 6 \text{ см}$.

14.3. $I_3 = \frac{F_1 h + F_2 h}{F_3} = \frac{5000 \cdot 15 + 3000 \cdot 5}{10000} \text{ м} = 9 \text{ м}$.

$$16.1. \rho_1 = \frac{F}{s} = \frac{800 \text{ Н}}{0,08 \text{ м}^2} = 10\,000 \text{ Па}, \quad \rho_2 = \frac{F}{s} = \frac{800 \text{ Н}}{0,5 \text{ м}^2} = 1600 \text{ Па}.$$

$$16.2. p = \frac{F}{s} = \frac{0,000025 \text{ Н}}{0,0000000001 \text{ м}^2} = 2\,500\,000 \text{ Па} = 25 \text{ атм}.$$

$$16.3. \rho_1 g h_1 = \rho_2 g (h_1 + h_2), \quad \rho_2 = \frac{\rho_1 h_1}{h_1 + h_2}, \quad \rho_2 = \frac{1000 \cdot 0,34}{0,38} \text{ кг/м}^3 \approx 895 \text{ кг/м}^3.$$

$$17.1. \rho_1 V_1 g = \rho_2 V_2 g, \quad \rho_2 = \rho_1 \frac{V_1}{V_2} = \rho_1 \frac{h_1}{l_2}, \quad \rho_2 = 900 \text{ кг/м}^3.$$

$$17.2. m_0 g - V_0 \rho_b g = m_i g - V_i \rho_b g, \quad m_0 - \frac{m_0}{\rho_0} \rho_b = m_i - \frac{m_i}{\rho_i} \rho_b, \quad m_0 \left(\frac{\rho_b - \rho_0}{\rho_0} \right) = m_i \left(\frac{\rho_b - \rho_0}{\rho_i} \right),$$

$$m_0 = m_i \frac{\rho_0}{\rho_i} \cdot \frac{\rho_b - \rho_0}{\rho_0 - \rho_b}, \quad m_0 = 1 \frac{880}{7900} \cdot \frac{7900 - 1,2}{880 - 1,2} = 1,0012 \text{ кг}. \quad 17.3. x \approx 379 \text{ г}. \quad 17.4. \approx 133 \text{ кг}.$$

$$17.5. \rho_s = \frac{\rho_0 h_0}{h_0} = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 23 \text{ мм}}{26 \text{ мм}} \approx 885 \text{ кг/м}^3.$$

18.1. 100 000 Н. 18.2. $\approx 8,5$ км.

20.1. Если $m = 50$ кг, $E_{\text{н}} = 50 \cdot 9,8 \cdot 2 = 980$ Дж, $E_{\text{k}} = 980$ Дж.

20.2. $E_{\text{к2}} = m(2v)^2/2 = 4 \cdot mv^2/2 = 4E_{\text{к1}}$. Кинетическая энергия автомобиля увеличилась в 4 раза. 20.3. Кинетическая энергия грузовика в 2 раза меньше кинетической энергии легкового автомобиля.

20.4. $E_{\text{н}} = mgh = 50 \cdot 9,8 \cdot 100$ Дж = 49 000 Дж.

20.5. $E_{\text{н}} = mgh = 50 \cdot 9,8 \cdot 20$ Дж = 9800 Дж. 20.6. $\frac{E_{\text{к2}}}{E_{\text{к1}}} = \frac{3000}{22,5} = 133$ раза.

20.7. $E_{\text{н}} = E_{\text{к}}, \quad mgh = \frac{mv^2}{2}, \quad h = \frac{v^2}{2g}, \quad v = 216 \text{ км/ч} = \frac{216}{3,6} \text{ м/с} = 60 \text{ м/с},$

$$h = \frac{v^2}{2g} = \frac{3600}{2 \cdot 9,8} \text{ м} = 184 \text{ м}.$$

21.1. $A = Fs = mgh = 200 \cdot 9,8 \cdot 2$ Дж ≈ 3920 Дж. 21.2. $\Delta E_{\text{k}} = A = Fs$,

$$F = \frac{\Delta E_{\text{k}}}{s} = \frac{\frac{mv^2}{2} - 0}{s} = \frac{mv^2}{2s}, \quad v = \frac{108}{3,6} \text{ м/с} = 30 \text{ м/с}, \quad F = \frac{1000 \cdot 900}{2 \cdot 150} \text{ Н} = 3000 \text{ Н}.$$

$$21.3. N = \frac{A}{t} = \frac{\Delta E_{\text{k}}}{t} = \frac{mv^2}{2t}, \quad N = \frac{75 \cdot 100}{2 \cdot 5} \text{ Вт} = 750 \text{ Вт}.$$

$$21.4. A = \Delta E_{\text{k}} = \frac{mv^2}{2} = \frac{160\,000 \cdot 10\,000}{2} \text{ Дж} = 800\,000\,000 \text{ Дж}.$$

$$21.5. A = -\frac{1500 \cdot 400}{2} \text{ Дж} = -300\,000 \text{ Дж} = -300 \text{ кДж}.$$

$$21.6. A = \frac{80 \cdot 400}{2} \text{ Дж} - \frac{80 \cdot 100}{2} \text{ Дж} = 12\,000 \text{ Дж}.$$

$$21.7. N = \frac{A}{t} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{1700 \cdot 900}{2 \cdot 6} \text{ Вт} = 127\,500 \text{ Вт} = 127,5 \text{ кВт}, \quad N = \frac{127\,500 \text{ Вт}}{735,5 \text{ Вт/л. с.}} = 173 \text{ л. с.}$$

$$21.8. N_1 = \frac{A}{t_1} = \frac{\Delta E_{\text{k}}}{t_1} = \frac{mv^2}{2t_1}, \quad N_1 = \frac{2000 \cdot 900}{2 \cdot 5} \text{ Вт} = 180\,000 \text{ Вт},$$

$N_1 = \frac{180\,000}{735,5}$ л. с. = 245 л. с. Следовательно, за 5 с до скорости 108 км/ч автомобиль разогнаться не сможет.

$t_2 = \frac{A}{N_2} = \frac{N_1 \cdot t_1}{N_2} = \frac{900\,000}{170 \cdot 735,5}$ с = 7,2 с. Для разгона автомобиля до скорости 108 км/ч потребуется примерно 7,2 с.

21.9. $A = Fs = Fvt$, $A = Nt$, $Nt = Fvt$, $N = Fv$, $v = 36$ км/ч = $36/3,6$ м/с = 10 м/с, $N = 300\,000 \cdot 10$ Вт = 3 000 000 Вт = 3000 кВт.

21.10. $N = \frac{A}{t} = \frac{mgh}{t}$, $N = \frac{50 \cdot 9,8 \cdot 0,2 \cdot 20 \cdot 5}{98}$ Вт = 100 Вт.

21.11. $A = Fs = 3 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 3 \text{ Дж.}$

22.5. Система из подвижного и неподвижного блоков даёт выигрыш в силе в 2 раза и не даёт выигрыша в работе. **22.6.** Выигрыш в силе равен $\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}$.

22.7. Рука человека как рычаг проигрывает в силе в 8 раз, $F = 784$ Н.

22.8. ≈ 225 Н. **23.1.** Амплитуда равна 0,25 см, $v = 500$ Гц, $T = 0,002$ с.

23.2. 0,5 с. **23.3.** 4 м.

24.1. $\lambda = vT = \frac{v}{v} = \frac{340 \text{ м/с}}{500 \text{ Гц}} = 0,68 \text{ м.}$ **24.2.** $\frac{\lambda_{\text{пл}}}{\lambda_{\text{вз}}} = \frac{v_{\text{пл}}T}{v_{\text{вз}}T} = \frac{1500}{340} = 4,4.$

24.3. $v = \lambda v = 5 \cdot 1000 \text{ м/с} = 5000 \text{ м/с.}$

25.1. Если рост человека равен 1 м 80 см, то при увеличении в 10 млн раз его рост стал бы равным 18 млн м, или 18 000 км. Это больше диаметра Земли.

31.1. $Q_1 = Q_2$, $c_1 m_1 (t_3 - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t_3)$,

$$t_2 = \frac{c_1 m_1 (t_1 - t_3) + c_2 m_2 t_3}{c_2 m_2} = \frac{c_1 m_1 (t_1 - t_3)}{c_2 m_2} + t_3 = \frac{4200 \cdot 0,1 (30 - 25)}{700 \cdot 0,05} \text{ °C} + 30 \text{ °C} = 90 \text{ °C.}$$

31.2. $Q_1 = Q_2$, $c_1 m_1 (t_3 - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t_3)$,

$$t_1 = \frac{c_2 m_2 (t_2 - t_3)}{c_1 m_1}, \quad c_1 = c_2, \quad t_1 = \frac{m_2 t_2 - m_2 t_3}{m_1} = \frac{0,16 \cdot 36 - 0,04 (100 - 36)}{0,16} \text{ °C} = 20 \text{ °C.}$$

$$\text{31.3. } t_1 = \frac{c_1 m_1 (t_3 - t_1)}{c_2 m_2} = \frac{4200 \cdot 0,1 \cdot 30 - 700 \cdot 0,05 (90 - 30)}{4200 \cdot 0,1} \text{ °C} = 25 \text{ °C.}$$

$$\text{31.4. } \frac{c_1 m_1 (t_{3A} - t_{1A})}{c_2 m_2 (t_{3B} - t_{1B})} = \frac{c_A m_A (t_{2A} - t_{1A})}{c_B m_B (t_{2B} - t_{1B})}, \quad m_1 = m_2 \text{ и } c_1 = c_2,$$

$$\frac{(t_{3A} - t_{1A})}{(t_{3B} - t_{1B})} = \frac{c_A m_A (t_{2A} - t_{1A})}{c_B m_B (t_{2B} - t_{1B})}, \quad \frac{c_A}{c_B} = \frac{(t_{3A} - t_{1A}) m_B (t_{2B} - t_{1B})}{(t_{3B} - t_{1B}) m_A (t_{2A} - t_{1A})} = \frac{(25 - 20) \cdot 0,1 \cdot (100 - 30)}{(30 - 23) \cdot 0,2 \cdot (100 - 25)} = \frac{1}{3}.$$

33.1. $Q_1 = Nt_1$, $cm(T_1 - T_2) = Nt_1$, $Q_2 = Nt_2$, $cm(T_2 - T_3) + \lambda m = Nt_2$,

$$t_2 = \frac{cm(T_2 - T_3) + \lambda m}{N}, \quad t_2 = \frac{cm(T_2 - T_3) + \lambda m}{cm(T_1 - T_2)} t_1 = \frac{c(T_2 - T_3) + \lambda}{c(T_1 - T_2)} t_1$$

$$t_2 = \frac{4180(8 - 0) + 334\,400}{4180(24 - 8)} 10 \text{ мин} = 55 \text{ мин.}$$

34.2. $Q_1 = Q_2$, $c_1 m_1 (t_2 - t_1) + rm_1 = \eta N t$.

$$t = \frac{c_1 m_1 (t_2 - t_1) + rm_1}{\eta N} = \frac{4200 \cdot 0,4 \cdot 70 + 2256000 \cdot 0,4}{0,8 \cdot 1000} \text{ с} = 1275 \text{ с} = 21,25 \text{ мин.}$$

35.1. $Q_1 = Q_2$, $qm_1 = cm_2 \Delta t$, $m_1 = \frac{cm_2 \Delta t}{q} = \frac{4,18 \cdot 1 \cdot 100}{50000} \text{ кг} = 0,00836 \text{ кг} = 8,36 \text{ г.}$

35.2. $\Delta E_{\text{н}} = Q$, $\Delta E_{\text{н}} = m_s gh$, $Q = q_0 m_0$, $m_s gh = q_0 m_0$,

$$h = \frac{q_0 \cdot m_0}{m_s \cdot g} = \frac{44000000 \cdot 10}{1000 \cdot 10} \approx 44000 \text{ м} \approx 44 \text{ км.}$$

35.3. $Q_1 = Q_2$, $Q_1 = q \cdot m_0$, $Q_2 = c_a m_a \Delta t = c_a p_n V_n \Delta t$, $q \cdot m_0 = c_a p_n V_n \Delta t$,

$$m_0 = \frac{c_a p_n V_n \Delta t}{q} = \frac{730 \cdot 1,2 \cdot 0,0025 \cdot 300}{44000000} \text{ кг} = 0,000015 \text{ кг} = 15 \text{ мг.}$$

Коды правильных ответов на задания тестов

Тест 1

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1				✗
2				✗
3	✗			
4		✗		
5				✗
6		✗		
7			✗	
8	✗			
9			✗	
10			✗	
11		✗		
12	✗			
13	✗			
14				✗

Тест 2

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1			×	
2		×		
3	×			
4		×		
5		×		
6		×		
7				×
8	×			
9				×
10				×
11		×		
12	×			
13			×	
14			×	

Тест 3

Номер задания	Номер правильного ответа				
	1	2	3	4	5
1	×				
2		×			
3	×				
4	×				
5			×		
6			×		
7		×			
8					×
9			×		
10				×	
11			×		
12	×				
13		×			
14				×	

Тест 4

Номер задания	Номер правильного ответа			
	1	2	3	4
1				×
2	×			
3		×		
4			×	
5			×	
6			×	
7				×
8	×			
9			×	
10		×		
11		×		
12	×			
13		×		
14		×		

Итоговый тест

Номер задания	Номер правильного ответа				
	1	2	3	4	5
1		x			
2	x				
3	x				
4				x	
5			x		
6			x		
7				x	
8			x		
9			x		
10	x				
11	x				
12	x				
13		x			
14			x		
15				x	
16	x				
17		x			
18			x		
19	x				
20				x	
21		x			
22				x	
23	x				
24		x			
25		x			
26				x	
27	x				x
28					x
29		x			
30				x	
31				x	
32			x		
33			x		
34		x			
35		x			

Предметно-именной указатель

- Абсолютная влажность воздуха 152
Амплитуда колебаний 100
Атмосферное давление 80
Атом 112
- Барометр 81
Блок 96
Броуновское движение 113
- Ватт 93
Векторная величина 24
Вес 50
Взаимодействие молекул 116
Взаимодействие тел 46
Влажность воздуха 152
Внутренняя энергия 134
Время 14
Вынужденные колебания 100
Высота тона 104
- Газ 120
Газовый термометр 133
Галилей 8
Гидравлический пресс 74
Гипотеза 6
Голос человека 107
Градус 131
Грамм 39
График 32
— пути 33
— скорости 33
- Давление 72
— жидкостей и газов 72
Двигатель внутреннего сгорания 159
Демокрит 114
Джоуль 137
Джоуль 89
Динамометр 54
Диффузия 112
Длина 10
— волны 104
- Жидкостный термометр 132
- Закон Архимеда 76
Закон Бойля—Мариотта 122
Звук 104
Звуковые волны 104
Землетрясение 106
- Инертность 38
Инерция 38
Инфразвук 104
Испарение 150
- Калория 136
Киловатт 93
Килограмм 39
Километр 10
Кинетическая энергия 89
Кипение 150
Количество теплоты 134
Конвекция 142
Конденсация 150
Коэффициент полезного действия 97
— трения 84
Кристаллизация 146
Кристаллы 124
- Лошадиная сила 94
- Масса 38
Мегаватт 93
Метр 10
Механическая энергия 88
Механические волны 104
— колебания 100
Механический эквивалент теплоты 136
Механическое движение 20
Миллиграмм 39
Миллиметр 10
Минута 14
Молекула 112
Мощность 93
- Наблюдение 6
Наклонная плоскость 96
Насыщенный пар 150
Научное открытие 6
Ненасыщенный пар 150
Ньютон 47
- Опыт 6
Относительная величина 21
— влажность воздуха 152
Относительность движения 20
- Период колебаний 100
Плавление 146
Плотность 42
Погрешность измерения 14
— систематическая 14
— случайная 14
Поперечные волны 104
Потенциальная энергия 89
Правило сложения векторов 26
— рычага 66
Проблема 8
Продольные волны 104
Простые механизмы 96
Путь 20

- Работа 92
 Равновесие тел 64
 Равнодействующая сил 58
 Равномерное движение 24
 Резонанс 100
 Рычаг 64
- Сантиметр 10
 Свободные колебания 100
 Свойства газов 120
 – жидкостей 124
 – твёрдых тел 124
 Сейсмические волны 106
 Сейсмограф 106
 Секунда 14, 17
 Сила 46
 – трения 84
 – тяжести 50
 – упругости 54
 Скалярная величина 20
 Скорость 24
 Сложение сил 58
 Слух 106
 Спидометр 30
 Среднее арифметическое значение 14
 Сутки 14
- Таблица 32
 Температура 130
 Тепловые машины 158
 Теплопередача 130
 – излучением 142
 Теплопроводность 142
 Теплота 132
 – сгорания 156
- Термометр 131
 Тонна 39
 Траектория 20
- Удельная теплоёмкость 138
 – теплота парообразования 150
 – теплота плавления 146
 – теплота сгорания 157
 Ультразвук 104
- Фалес 6**
 Физика 6
 Физические величины 10
 – тела 10
 Физический прибор 7
 Физическое явление 6
- Цена деления шкалы 13
 Центр тяжести тела 16
- Час 14
 Частота колебаний 100
 Часы 16
- Шкала Цельсия 131
- Эксперимент 6
 Электронный термометр 133
 Энергия 88
 Эталон времени 16
 – килограмма 40
 – метра 40

Оглавление

Предисловие	3
Физика и физические методы изучения природы	5
§ 1. Физические явления	6
§ 2. Физические величины. Измерение длины	10
§ 3. Измерение времени	14
Механические явления	19
§ 4. Механическое движение	20
§ 5. Скорость	24
§ 6. Методы исследования механического движения	28
§ 7. Таблицы и графики	32
Тест 1	36
§ 8. Явление инерции. Масса	38
§ 9. Плотность вещества	42
§ 10. Сила	46
§ 11. Сила тяжести. Вес	50
§ 12. Сила упругости	54
§ 13. Сложение сил	58
Тест 2	62
§ 14. Равновесие тел	64
§ 15. Центр тяжести тела	68
§ 16. Давление	72
§ 17. Закон Архимеда	76
§ 18. Атмосферное давление	80
§ 19. Сила трения	84
§ 20. Энергия	88
§ 21. Работа и мощность	92
§ 22. Простые механизмы	96
§ 23. Механические колебания	100
§ 24. Механические волны	104
Тест 3	108
Строение вещества	111
§ 25. Атомное строение вещества	112
§ 26. Взаимодействие частиц вещества	116
§ 27. Свойства газов	120
§ 28. Свойства твёрдых тел и жидкостей	124
Тепловые явления	129
§ 29. Температура	130
§ 30. Внутренняя энергия	134
§ 31. Количество теплоты. Удельная теплоёмкость	138
§ 32. Теплопроводность. Конвекция. Теплопередача излучением	142
§ 33. Плавление и кристаллизация	146
§ 34. Испарение и конденсация	150
Тест 4	154
§ 35. Теплота сгорания	156
Итоговый тест	160
Ответы к задачам	164
Коды правильных ответов на задания тестов	167
Предметно-именной указатель	172

Учебное издание

Кабардин Олег Фёдорович

ФИЗИКА

7 класс

Учебник для
общеобразовательных организаций

Центр естественно-математического образования

Редакция физики и химии

Зав. редакцией *В. И. Езудин*

Редактор *Т. П. Каткова*

Младший редактор *Т. И. Данилова*

Художественный редактор *Т. В. Глушкова*

Художник *В. С. Давыдов*

Компьютерная вёрстка

и техническое редактирование *О. В. Храбровой, Е. С. Юровой*

Корректор *Г. Н. Смирнова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000.
Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 14.04.14. Формат
 $84 \times 108^1/8$. Бумага офсетная. Гарнитура NewtonCSanPin. Печать офсетная. Уч.-изд. л.
12,68. Доп. тираж 5 000 экз. Заказ № .

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, Москва,
3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в филиале «Тверской полиграфический комбинат детской литературы»
ОАО «Издательство «Высшая школа».
170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.
Тел.: +7(4822)44-85-98. Факс: +7(4822)44-61-51.



7

О. Ф. Кабардин

ФИЗИКА

ПРОСВЕЩЕНИЕ
издательство