

Р. БАШАРУЛЫ

ФИЗИКА

Учебник для 7 классов
общеобразовательных школ



7

Рекомендовано Министерством образования и науки
Республики Казахстан



Алматы «Атамұра» 2017

УДК 373.167.1
ББК 22.3 я 72
Б 33

Учебник подготовлен в соответствии с Типовой учебной программой по предмету «Физика» для 7–9 классов уровня основного среднего образования по обновленному содержанию, утвержденной Министерством образования и науки РК.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:



– вопросы



– упражнения



– уровневые задания



– практические и экспериментальные задания



– теоретическое исследование



– дополнительные материалы
более высокого уровня



– Из истории развития науки и техники

материалы познавательно-воспитательного характера

Башарулы Р.

Б 33 Физика: Учебник для 7 кл. общеобразоват. шк. – Алматы: Атамұра, 2017. – 192 с.

ISBN 978–601–306–741–4

УДК 373.167.1
ББК 22.3 я 72

ISBN 978–601–306–741–4

© Башарулы Р., 2017
© «Атамұра», 2017

ЮНЫЕ ДРУЗЬЯ!

Среди естественнонаучных дисциплин физика занимает ведущее место. Она является самой главной фундаментальной наукой о природе. Физика исследует такие природные явления, как механическое движение и строение вещества, электрические и тепловые процессы, а также изучает возникновение и распространение различных электромагнитных излучений.

Данный учебник познакомит вас с начальными сведениями о физических понятиях, величинах и законах, описывающих механические явления. В нем найдете интересный и востребованный в жизни материал об окружающем мире и технике.

Не пытайтесь заучивать текст учебника. Это никому не нужно. Старайтесь понять суть и выделять в тексте наиболее важные элементы знания и найти логическую связь между ними. Выделенные таким образом элементы знания являются *опорными единицами* изучаемого материала, предназначенными для запоминания. После изучения определенной темы дайте ответы на вопросы. Если некоторые из них вызовут у вас затруднения, то вернитесь к изучению теоретического материала.

Одним из требований глубокого усвоения физики является *умение решать задачи*. Вы должны стремиться решить все задачи, данные в учебнике. Если некоторые из них не поддаются решению, значит, вы недостаточно проработали теоретический материал. В подобной ситуации еще раз перечитайте его. Если и после этого решение задачи вызовет затруднения, то следует воспользоваться дополнительной литературой, обратиться к помощи друзей, учителей и родителей. Со временем вы научитесь использовать теоретические знания для решения практических задач и у вас появится интерес к изучению физики.

В исследовании природных явлений *особое место занимают такие методы*, как *наблюдение, эксперимент и теоретический анализ*. Усвоение этих методов является одним из главных требований современного образования. Поэтому в учебнике, начиная с первой главы, их изучению придается большое значение. Физика – в основном экспериментальная наука. Следовательно, нужно тщательно и ответственно готовиться к проведению как лабораторных, так и практических и экспериментальных работ.

Юные друзья! Пусть ваша жизненная тропа будет освещена светлым лучом знаний!



ГЛАВА

1

На предыдущей странице представлены **программные учебные цели**, глубокое усвоение которых для учащихся является обязательным. Кроме того, в этой главе рассматриваются важные не только для физики, но и для других отраслей науки основные понятия: **природные явления, физические явления, основные методы исследования явлений, гипотеза, физическая теория, измерение, физическая величина, скалярная и физическая величины, стандартная запись чисел.**

§ 1

ФИЗИКА – НАУКА О ПРИРОДЕ

1. Слово «физика» происходит от греческого *φύσις*, что означает «природа». В широком смысле **природа** – это весь мир в многообразии его форм: животные и растения, Земля и Луна, Солнце и далекие звезды и т. д.

В более узком смысле природу связывают, прежде всего, с земной средой, непосредственно окружающей человека. Человек также часть природы, поскольку колыбелью человечества является родная планета Земля. По этой причине такие понятия, как «земля» и «мать», у нашего народа были неразделимы. Мы любим родную землю как мать, а мать сравниваем с лучезарным Солнцем. Называя Жетысу «земным раем», а Кокшетау – «непревзойденной красой Земли», наши предки выражали горячую любовь к родной земле. Они придавали исключительно высокое значение сохранению природной чистоты окружающего мира: лесов, озер и рек. Передавая из поколения в поколение мудрые изречения: «Утолив жажду, не плюй в колодец», «Встретив родник, очищай его источник», – воспитывали молодое поколение в духе бережного отношения к родной природе.

2. Природа находится в непрерывном **изменении**. Например, извержение вулкана (рис. 1.1), вспышка молнии, всплеск солнечного пламени – плазмы (рис. 1.2), превращение воды в лед – всё это изменения, происходящие в природе. Постоянное движение небесных тел, рост и благоухание цветов, наводнение или обмеление рек и озер, смена времен года, движение людей и животных и многое другое – это тоже изменения в окружающем мире.

*Многообразные изменения, происходящие в природе, называются **природными явлениями.***



Рис. 1.1. Извержение вулкана

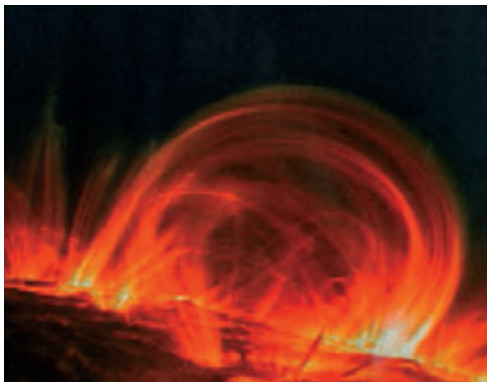


Рис. 1.2. Гигантский всплеск солнечного пламени – плазмы

3. Явления в природе взаимосвязаны. Изучением природных явлений занимаются такие естественные науки, как физика, астрономия, география, геология, биология, химия. Каждая наука при этом преследует свои цели и использует свои методы. Например, физика изучает *механические, тепловые, электромагнитные, световые явления, строение вещества.*

Природные явления, изучаемые физикой, называются физическими явлениями.

Естественные науки дополняют друг друга в изучении природных явлений. Например, *география* использует физические законы при объяснении таких явлений, как течение рек и изменение климата. В *биологии*, используя законы физики, объясняют жизнедеятельность животных, строение их органов слуха и зрения. Поэтому физические законы и явления изучают и используют многие специалисты: *инженеры, конструкторы, врачи, агрономы, водители транспортных средств* и т. д.

4. Среди естественнонаучных дисциплин наиболее тесно связаны физика и астрономия. Наука астрономия, используя законы физики, объясняет движение небесных тел и явлений, пытается раскрыть причины их возникновения и предсказать возможные последствия. В качестве примера рассмотрим такие общие для физики и астрономии явления, как смена дня и ночи, а также затмение Солнца.

В старину люди неверно понимали смену дня и ночи, полагая, что Солнце движется вокруг Земли. В действительности же Земля движется вокруг Солнца (рис. 1.3), делая один оборот за год (365 дней). *Смена времен года* как раз и объясняется движением Земли вокруг Солнца.

Одно из ярчайших природных явлений – *затмение Солнца* (рис. 1.4). В старину оно вызывало у людей ужас. Сейчас многие знакомы с причинами его возникновения. Ученые объяснили это явление с научной точки зрения. Луна, вращаясь вокруг Земли, в какой-то

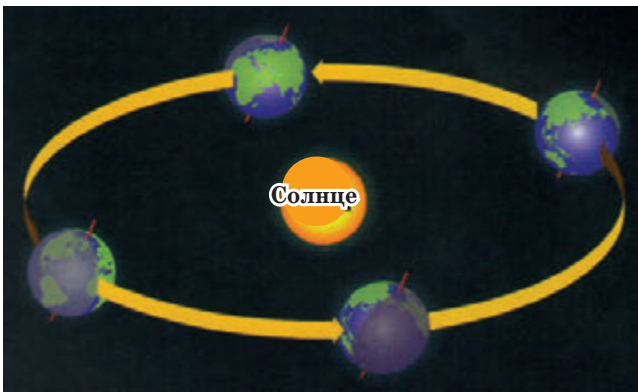


Рис. 1.3. Вращение Земли вокруг Солнца

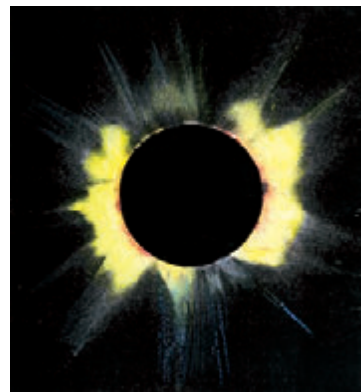


Рис. 1.4. Затмение Солнца

период оказывается между Солнцем и Землей (рис. 1.5). В это время она заслоняет Солнце, и некоторые участки Земли попадают в тень Луны. Тогда люди и наблюдают солнечное затмение (рис. 1.4).

Полный оборот вокруг своей оси Земля делает за сутки (24 ч). При вращении Земли та ее часть, которая обращена к Солнцу, является светлой. В то же время противоположной (теневого) стороне Земли постепенно наступает ночь. Таким образом происходит постоянная смена дня и ночи (рис. 1.5).

5. *Основная цель физики – исследование различных физических явлений, происходящих в природе, открытие законов, устанавливающих связь между этими явлениями.* Например, было установлено, что падение различных предметов на землю обусловлено силой ее притяжения. Смена времен года (зима, весна, лето, осень) объясняется движением Земли вокруг Солнца (рис. 1.4). Нами здесь названы четыре явления природы: *падение тела, притяжение Земли, смена времен года, движение Земли вокруг Солнца.* Исследование связей между этими и подобными им явлениями в физике способствовало открытию законов Ньютона, а в астрономии – законов Кеплера. Таким обра-

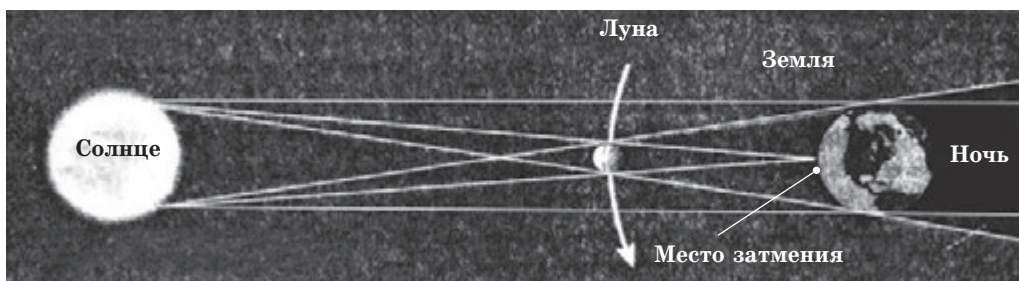
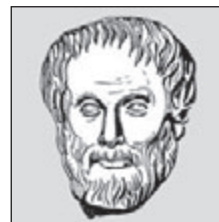


Рис. 1.5. Взаимное расположение Солнца, Земли и Луны во время солнечного затмения

зом, в процессе познания и установления связей между явлениями природы открываются **законы физики**. С этими законами вы будете знакомиться постепенно, в процессе дальнейшего обучения.



**Стагирит
Аристотель**
(384–322 до н. э.)



**Абу Наср
аль-Фараби**
(870–950)



**Михаил
Васильевич
Ломоносов**
(1711–1765)



Из истории развития науки и техники

Физика как наука и учебный предмет развивалась благодаря трудам выдающихся ученых многих стран мира, имена которых записаны в истории золотыми буквами. Великий греческий мыслитель Аристотель впервые назвал *физику* наукой о природе. Учение Аристотеля своими блестящими «комментариями» обогатил наш соотечественник Абу Наср аль-Фараби из древнего казахского города Отрар (по-арабски «Фараб»). Признательные потомки называют Аристотеля «Первым учителем», а аль-Фараби – «Вторым учителем». Слово «физика» как научный и учебный предмет твердо вошло в русский язык благодаря трудам великого ученого М. В. Ломоносова – основателя первого российского университета.

Эти ученые отличались универсальными знаниями. Они внесли значительный вклад почти во все отрасли науки своего времени, включая и физику, и астрономию. Дополнительные сведения о трудах великих мыслителей вы можете найти в литературных источниках, приведенных в конце учебника.



Вопросы

1. Что означает слово *природа*?
2. Какие явления называются природными?
3. Какие природные явления относятся к физическим? Какие физические явления вы знаете?
4. Как можно объяснить затмение Солнца?
5. Какие науки исследуют природные явления? Приведите примеры их взаимосвязи.
6. Какова цель физики?
7. Как открываются законы физики?
8. Какие великие ученые стояли у истоков становления физики как науки?



Практические задания

1. Напишите краткую статью о затмении Луны для школьной стенной газеты «Физика». Объясните это явление, нарисовав схему взаимного расположения Солнца, Земли и Луны.
2. Приведите примеры физических и астрономических явлений, не названных в тексте. Постарайтесь их объяснить.

§ 2

НАУЧНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДЫ

1. Знания о природе добываются путем применения различных исследовательских методов. Среди них наиболее распространенными научными методами являются *наблюдение*, *эксперимент* и *теоретический анализ*.

Наблюдение в основном используется для сбора *научных фактов*. На основе сравнения различных накопленных фактов осуществляется *теоретический анализ*. Путем систематизации теоретических анализов устанавливаются *закономерности* природных явлений. И для сбора научных фактов, и для проверки теоретических выводов применяется *эксперимент*.

Для понимания сущности указанных выше трех научных методов следует знать, что исследователи, в основном, ищут ответы на три вопроса:

- *Какое явление происходит?*
- *Как оно происходит?*
- *Почему оно так происходит?*

Чтобы ответить на первый вопрос, проводят *наблюдение*. При ответе на второй вопрос возрастает роль *эксперимента*. А ответ на последний вопрос может дать только *теоретический анализ*.

2. *Эксперимент является самым главным методом исследования в физике*. Эксперимент позволяет проверять на опыте физические явления, научные гипотезы и теории. Он позволяет также непосредственно наблюдать явления и открывать новые физические законы. В этом вы убедитесь в процессе изучения физики. Например, описываемые в данном учебнике законы Гука и Архимеда были открыты экспериментальным методом.

Для проведения эксперимента требуются такие качества, как *аккуратность*, *конкретность*, *точность* и *ответственность*.

Очень важно также приобретение навыков представления результатов измерений и других экспериментальных данных в виде таблиц и графиков. Так, например, для описания хода эксперимента неукоснительными требованиями являются следующие тематические записи в рабочей тетради:

- 1) *название экспериментальной работы;*
- 2) *цель эксперимента;*
- 3) *приборы и оборудование, применяемые в эксперименте;*
- 4) *схема эксперимента (чертежи и рисунки приборов);*
- 5) *описание хода эксперимента;*
- 6) *полученные результаты;*
- 7) *выводы, вытекающие из эксперимента.*

Школьные лабораторные работы также относятся к экспериментам. Поэтому при их выполнении и письменном оформлении должны строго соблюдаться вышеуказанные требования. При описании эксперимента (лабораторной работы) каждый шаг проделанной работы должен быть точно и аккуратно зафиксирован в рабочей тетради. Другими словами, ученик должен добиваться такой формы записи хода эксперимента, чтобы любой непосвященный человек, прочитав ее, мог понять и самостоятельно провести данный эксперимент.

3. В познании природы, в проведении научных экспериментов людям помогают различные специально созданные приборы. Некоторые физические приборы весьма просты. К ним можно отнести *линейку*, вертикальные и горизонтальные *уровни*, *весы* (рис. 1.6), *термометр*, *секундомер*, различные *источники тока* (батареи, аккумуляторы). Они находят широкое применение в школьных экспериментах.

Вместе с тем имеются и сложные приборы, необходимые для развития науки и техники. С помощью таких физических установок исследуют строение мельчайших атомных частиц микромира, а также гигантских небесных тел – мегамира. Для исследования микромира используют различные микроскопы. Оптические микроскопы позволяют увеличивать объекты в несколько тысяч раз, а сканирующие *зондовые* (рис. 1.7), *электронные микроскопы* и *ионные проекторы* – в несколько миллионов раз.

Для исследования строения Вселенной (мегамира) в основном используют *телескопы* (рис. 1.8).

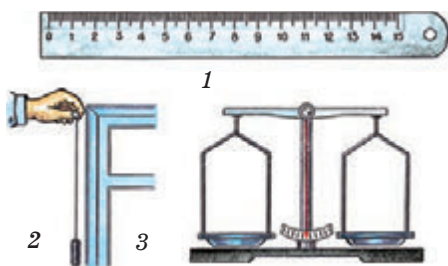


Рис. 1.6. Простые измерительные приборы: линейка, отвес и рычажные весы



Рис. 1.7. Сканерный зондовый микроскоп



Рис. 1.8. Телескоп

Источником информации, распространяющейся от далекого мегамира, являются видимые нам лучи обычного света, состоящего из фиолетового, зеленого, желтого, синего, красного и других цветов. Источником богатой информации являются также невидимые инфракрасные, ультрафиолетовые, рентгеновские лучи и радиоволны. Соответственно созданы разнообразные типы телескопов. Например, кроме оптических телескопов, улавливающих информацию видимого света, созданы телескопы, позволяющие извлекать информацию из рентгеновских лучей и различных радиоволн, доходящих до нас из глубин космоса.

4. Для установления закономерностей природных явлений ученые используют метод *теоретического анализа*. Данный метод позволяет исследователю выдвигать *научную гипотезу* и формулировать решаемую задачу в виде постановки *научной проблемы*. Оба эти момента теоретического метода анализа являются важными ответственными этапами исследования. Как утверждают ученые, *правильная постановка проблемы равна половине общего труда, затраченного на ее решение*.

В процессе решения проблемы путем сравнения новых и старых научных фактов осуществляется поиск ответа на вопрос: *имеется ли причинно-следственная связь между этими фактами?* Для этого применяется метод теоретического анализа, на основе которого сперва выдвигается научная гипотеза.

Предположение, основанное на научных фактах, называется гипотезой (греч. *гипотеза* – «предположение»).

Если между явлениями устанавливается причинно-следственная связь, то она характеризуется как *закон природы*. Если же между отдельными закономерностями обнаруживается *системная взаимосвязь*, то их выдвигают как *научную теорию*.

Система знаний, объясняющая физические явления и характеризующие их законы, называется физической теорией.

В физическую теорию входят описание явления, результаты эксперимента, понятия, основные идеи, модели, гипотезы, закономерности, методы исследования (в том числе и математические). В основе теоретических методов исследования лежат логические выводы человека.

Главной особенностью всех теорий является не только объяснение происходящего явления, но и *предсказание* хода дальнейших событий.

5. В зависимости от характера рассматриваемых явлений физические теории бывают разными. Однако они, оптимально сливаясь друг с другом, группируются вокруг нескольких *фундаментальных теорий*. В школьном курсе рассматриваются основы четырех фундаментальных теорий физики, с которыми вы будете ознакомлены в старших классах. Ниже только упоминаем, какие физические явления они описывают.

Теория *классической механики* рассматривает и объясняет физические явления, связанные с взаимодействием и механическим движением крупных макроскопических тел. В физике 7 класса рас-

сма­т­ри­ва­ют­ся от­дель­ные по­ня­тия, за­ко­ны и по­ло­же­ния клас­сиче­ской ме­ха­ни­ки.

Теория термодинамики и молекулярной физики посвящена объяснению проблем, связанных с тепловыми процессами.

Теория электродинамики рассматривает законы и закономерности электрических и магнитных явлений, в том числе свойства электромагнитов и возникновения электрических токов.

Теория квантовой механики изучает и объясняет процессы, происходящие в микромире, частицы которого двигаются со скоростью света или близкой к ней скоростью ($c = 300\,000$ км/с).



Из истории развития науки и техники



Рис. 1.9. Аппарат SOHO – космическая научная обсерватория для исследования Солнца

Космическая ракета с аппаратом «SOHO», предназначенным для исследования Солнца, преодолев расстояние 1,5 млн. км, вывела его в окосолнечную орбиту. Другие аппараты, имевшиеся в ракете, постоянно передавали на Землю телеизображения и другую информацию об окружающем пространстве. Данный снимок является прощальным перед исчезновением ракеты в глубинах космоса. Аппарат SOHO является научной обсерваторией, вращающейся вокруг Солнца на самом близком от него расстоянии. Аппарат постоянно наблюдает за Солнцем и посылает на Землю свои снимки. Рис.1.2 в учебнике как раз и взят из серии снимков, посылаемых аппаратом SOHO.



Вопросы

1. Какие научные методы изучения природы являются наиболее распространенными?
2. Чем эксперимент отличается от других научных методов? Какие требования обязательны для проведения эксперимента?
3. Какие приборы используются в физике и астрономии для наблюдения и эксперимента? Какие физические и астрономические приборы, кроме приведенных в учебнике, вы знаете?
4. В какой последовательности осуществляется теоретический метод анализа? Какое значение имеет правильная постановка проблемы исследования?
5. Чем заканчивается теоретический анализ? Что такое *научная гипотеза*? Как проверяется достоверность гипотезы?
6. Что такое *физическая теория*? В чем заключается главное назначение теории и из каких составных частей она состоит?
7. Какие фундаментальные теории физики изучают в школе? Какие физические явления они описывают?



§ 3

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ. СКАЛЯРНЫЕ И ВЕКТОРНЫЕ ВЕЛИЧИНЫ. МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ

1. При сравнительном описании различных природных явлений используются специальные термины, называемые **физическими величинами**. Например, для сравнения движения скачущей лошади, черепахи и летящей птицы используют три физических термина. Один из них – *время*, другой – *путь*, третий – *скорость*.

Названные выше термины *время*, *путь* и *скорость* – физические величины.

Специальные термины, количественно характеризующие свойства физических явлений, называются физическими величинами.

2. Каждая физическая величина имеет **единицы измерения** (кратко **единицы**). Опираясь на физические величины (при их записи, произношении), нужно обязательно указывать их единицы.

Значением физической величины называют некоторое число с указанием единицы измерения этой величины. Например, если время движения тела составляет 10 с, то записываем: $t = 10$ секунд (кратко 10 с). Если запишем время без единицы измерения, как $t = 10$, то оно теряет физический смысл.

3. В физике и математике различают так называемые **скалярные** и **векторные** величины.

Скаляром называется величина, значение которой определяется одним числом, без учета направления.

Например, *время*, *площадь*, *объем*, *масса* тела – скалярные величины.

Те величины, которые определяются и числовым значением, и определенным направлением, относятся к **векторным** величинам.

Направленный отрезок прямой называется вектором (рис 1.10). На этом рисунке направленные отрезки AB и CD являются векторными величинами, поскольку данные отрезки имеют определенные длины и соответствующие числовые значения, а также конкретные направления.

Например, *сила* и *скорость* – векторные величины. На рис 1.11 показаны домашние кошки и собачка, каждая из которых, играя с азартом, тянет клубок ниток в свою сторону. Силы их тяги F_1 , F_2 , F_3 и F_4 являются векторными величинами, так как они имеют конкретные значения и направления.

Для того чтобы отличить скалярные величины от векторных величин, их обозначают специальными знаками. Например, векторные величины, показанные на рис. 1.10, обозначаются знаками AB (кратко a), CD (кратко b) или жирными буквами как AB (кратко a), CD (кратко b).

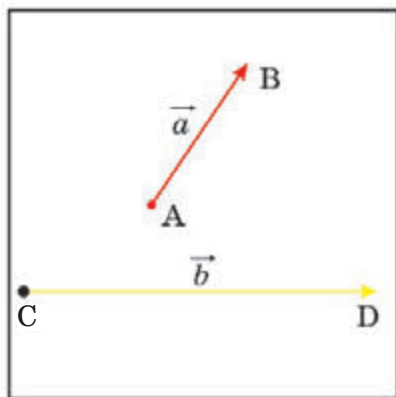


Рис. 1.10. Векторы



Рис. 1.11. Кто сильнее?

Длина отрезка называется **модулем вектора**. Модуль вектора $|\overline{AB}|$ обозначается знаком $|\overline{AB}|$ (кратко $|\vec{a}|$), модуль вектора $|\overline{CD}|$ обозначает знаком $|\overline{CD}|$ (кратко $|\vec{b}|$) или простыми (не жирными) буквами как AB (кратко a), CD (кратко b).

Равными векторами называются векторы, которые имеют равные длины и одинаковые направления.

Противоположными векторами называются векторы, которые имеют равные длины и противоположные направления.

4. Над векторными величинами можно осуществить математические действия. В качестве примера рассмотрим *сложение* и *вычитание* двух векторов, лежащих на одной прямой.

Вектор, представляющий сумму или разницу двух векторов, называется **результатирующим**, или **равнодействующим**, **вектором**. Для определения модуля равнодействующего двух векторов, лежащих на одной прямой (например, на оси Ox), применяются следующие правила:

модуль равнодействующего двух одинаково направленных векторов \vec{a} и \vec{b} , лежащих на одной прямой (рис. 12, а), определяется суммой модулей каждого из этих векторов;

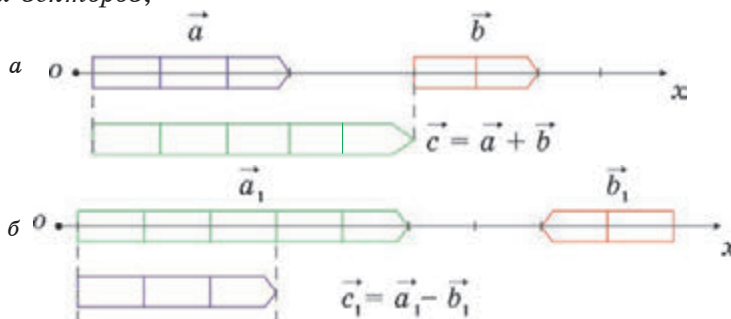


Рис. 1.12.

модуль равнодействующего двух противоположно направленных векторов \vec{a}_1 и \vec{b}_1 , лежащих на одной прямой (рис. 12, б), определяется разностью модулей каждого из этих векторов, а его направление совпадает с направлением вектора, имеющего наибольший модуль.

5. И векторные, и скалярные физические величины имеют свои единицы измерения. Современная *Международная система единиц* сложилась в результате длительного исторического развития единиц измерения.

За основу **Международной системы единиц**, введенной в 1960 году, была принята метрическая система мер. Международную систему единиц, охватывающую все области измерения, сокращенно обозначают SI (по-французски *Systeme International*). В Международной системе единиц семь основных единиц: длины – *метр (м)*, массы – *килограмм (кг)*, времени – *секунда (с)*, силы электрического тока – *ампер (А)*, термодинамической температуры – *кельвин (К)*, силы света – *кандела (кд)*, количества вещества – *моль (моль)*. С этими единицами вы постепенно познакомитесь в старших классах. Другие единицы являются производными от них. Например, единица площади – *квадратный метр (м²)*, единица объема – *кубический метр (м³)* и др.

6. Взятие *десятичного принципа* за основу Международной системы единиц, как в метрической системе мер, является ее важнейшим достоинством.

Действительно, по десятичному принципу, умножив или разделив на 10 основные единицы, можно получить все остальные кратные и дольные единицы.

В связи с этим создана десятичная система приставок. Например, приставка *кило* означает *тысяча*, поэтому 1 км (километр) = 1000 м; 1 кг (килограмм) = 1000 г; 1 кВ (киловольт) = 1000 В.

Приставка *милли* означает *одну тысячную долю* любой единицы, например: 1 миллиграмм – одна тысячная доля грамма; 1 миллиметр – одна тысячная метра; 1 миллилитр – одна тысячная литра.

Метрическая система мер облегчает переход от одних единиц к другим, особенно она незаменима при переходе к квадратным и кубическим единицам. Например, 1 м = 100 см; 1 см = 10 мм, или 1 см = 1 м : 100 = 0,01 м; 1 мм = 1 см : 10 = 0,1 см. Тогда 1 м² = (100 см)² = 10 000 см²; 1 мм³ = (0,1 см)³ = 0,001 см³.

В табл. 1 Приложения, помещенного в конце учебника, приведены некоторые приставки метрической системы мер и их числовые значения относительно основных единиц.



Из истории развития науки и техники

В старину разные страны пользовались своими единицами измерения. Например, казахи для измерения длины использовали такие единицы, как *қарыс* (расстояние между раздвинутыми большим и средним пальцами, по-русски *пядь*), *елі* (ширина одного пальца), *сүйем* (расстояние между вытянутыми большим и указательным пальцами), *табан* (длина ступни), *құлаш* (расстояние между вытянутыми в стороны руками, по-русски *сажень*) *шақырым* (верста). Русская мера длины 1 верста равна 500 құлаш (500 *сажень*). В США и Англии до сих пор пользуются такими единицами длины, как *миля*, *ярд*, *фут*, *дюйм*.

Такое разнообразие единиц измерения затрудняет переход от одних единиц к другим, затем к третьим, требует длительных вычислений.

Бессистемность единиц измерения затрудняла торговые отношения между народами, тормозила развитие промышленности. В связи с этим 1 августа 1793 г. Конвентом (правительством Франции того времени) было принято историческое решение о введении **метрической системы мер**. В основу этой системы положена единица длины *метр*. На эталоне метра, который хранится во Франции, были высечены слова: **«На все времена, для всех народов»**. Впоследствии (1875) метрическая система мер была принята большинством стран мира.



Вопросы

1. Какая величина называется физической? В чем заключается ее смысл? Назовите известные вам физические величины.
2. Что означает «значение физических величин»? Приведите примеры.
3. Какую величину называют скаляром? Приведите примеры.
4. Какая величина называется вектором? Что такое *модуль вектора*? Как обозначаются вектор и его модуль?
5. Какие векторы называются равными противоположными векторами?
6. Какие правила применяются для сложения и вычитания векторов, лежащих на одной прямой?
7. Чему равен модуль равнодействующего двух одинаково направленных векторов, лежащих на одной прямой? Объясните на примере.
8. Чему равен модуль равнодействующего двух противоположно направленных векторов, лежащих на одной прямой? Объясните на примере.
9. Какие единицы измерения, не входящие в метрическую систему мер, вы знаете? В чем их недостатки?
10. Какая система мер была принята за основу Международной системы единиц? Каковы ее важнейшие достоинства?
11. Какие кратные и дольные единицы системы мер вы знаете?



Упражнения 1.1

1. Ученик проходит путь от дома до школы за 15 мин. Выразите это время в часах и секундах.
2. Сколько секунд составляют 1,5 суток?
3. Луна совершает один полный оборот вокруг своей оси за 27,3 суток. Сколько часов, минут это составляет?
4. За сколько минут Земля совершает один полный оборот вокруг своей оси?
5. Промежуток времени между двумя полнолуниями равен 29,5 суток. Сколько часов это составляет?
6. Длина стола равна 0,8 м. Запишите ее в километрах, дециметрах, сантиметрах и миллиметрах.
7. Имеется квадрат, длина стороны которого равна 1,2 дм. Найдите площадь квадрата и выразите ее в квадратных сантиметрах и квадратных миллиметрах.
8. Объем тела равен 2800 см^3 . Выразите этот объем в литрах.
9. Сколько миллилитров содержится в объеме, равном $38\,600 \text{ мм}^3$?
10. Известно, что 1 гектар (га) – это площадь квадратного участка, имеющего длину сторон 100 м. Сколько гектаров в 1 км^2 ? Сколько гектаров земли занимает ваш дом или дача? Сколько квадратных метров составляет этот участок?
11. Молодой бамбук вырастает в течение суток на 86,4 см. Определите его рост за 1 с.

§ 4

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. РАБОТА С ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМИ ПРИБОРАМИ. ИЗМЕРЕНИЕ ОБЪЕМА ТЕЛ ПРАВИЛЬНОЙ И НЕПРАВИЛЬНОЙ ФОРМЫ

1. Значения как скалярных, так и векторных физических величин определяются путем *измерения*.

Измерением физической величины называется сравнение ее с другой однородной величиной, принятой за единицу измерения.

Физические величины измеряют с помощью специальных приборов. Самым простым измерительным прибором является *линейка*. Используя ее, можно измерять расстояние и линейные размеры тел: длину, ширину и высоту.

Измерительные приборы, часто используемые в школе, показаны на рис. 1.13. На их лицевой стороне показаны деления с единицами измерения. Напротив некоторых делений написаны цифры.

2. Деления и цифры, нанесенные на лицевую поверхность прибора, называются *шкалой прибора*.

Рассуждать о показании прибора и значении измеряемой величины можно лишь в том случае, если прибор имеет шкалу.

Во многих случаях наряду со шкалой на поверхность прибора наносят и единицу измеряемой величины в сокращенном виде. Например, единицы силы тока: ампер (А), миллиампер (мА); единицы объема: см^3 , дм^3 , литр (л) и т. д.

3. Чтобы провести правильное измерение, следует находить *цену деления* шкалы прибора.

Чтобы определить цену деления шкалы прибора, нужно разность двух любых значений величины, указанных на шкале, разделить на число делений между ними.

Например, используя мензурку, изображенную на рис. 1.13, б, определяют цену деления в следующем порядке:

а) возьмем на шкале два любых значения объема, например 150 см^3 и 100 см^3 ;

б) найдем их разность: $150 \text{ см}^3 - 100 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3$;

в) определим число делений между этими двумя значениями объема (между 150 см^3 и 100 см^3). Как видно из рисунка, число таких делений равно 10;

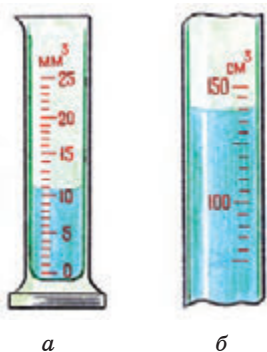


Рис. 1.13. Мензурки и секундомер

г) определим значение, соответствующее одному делению:

$$50 \text{ см}^3 : 10 = 5 \text{ см}^3.$$

Это число является значением наименьшего деления шкалы, т. е. **ценой одного деления** шкалы прибора.

После определения цены одного деления нахождение значения измеряемой величины не составит особого труда. Например, объем жидкости в мензурке больше 100 см^3 , но меньше 150 см^3 . Уровень жидкости находится на 8 делений выше отметки 100 см^3 . Объем, соответствующий этим делениям, равен: $8 \cdot 5 \text{ см}^3 = 40 \text{ см}^3$. Тогда объем жидкости в мензурке составит $100 \text{ см}^3 + 40 \text{ см}^3 = 140 \text{ см}^3$.

4. Мензурки используются для определения объема не только жидкости, но и различных мелких тел (рис. 1.14), а также тел **неправильной формы** (рис. 1.15). Для этого в мензурку наливают столько воды, чтобы тело, объем которого нужно измерить, утопало полностью. Тогда разность последнего и первоначального уровней воды в мензурке будет равна объему твердого тела.

Объем тела, не помещающегося в цилиндр, можно определить с помощью посуды с носиком (рис. 1.15). Перед измерением нужно наполнить сосуд водой до носика. Объем воды, вытесненной при опускании тела, равен объему этого тела. Измерив с помощью мензурки объем вылившейся воды, определяют и объем тела неправильной формы.

Если отсутствует посуда с носиком, можно воспользоваться двумя любыми сосудами, входящими друг в друга свободно. В этом случае внутренний сосуд нужно заполнить полностью водой. Как и в предыдущем случае, измерив мензуркой объем вылившейся воды, находят объем тела.

5. Объем тела **правильной формы** определяется путем измерения его геометрических размеров. К числу тел правильной формы относятся, например, такие геометрические фигуры, как прямоугольный параллелепипед, шар, правильная пирамида и т. д. (рис. 1.16).

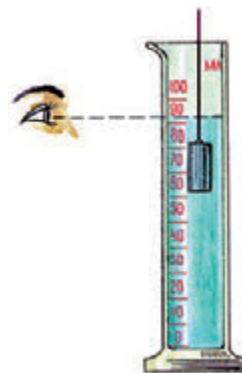


Рис. 1.14. Мензурка



Рис. 1.15.
Использование
различной посуды



Шар



Параллелепипед



Пирамида

Рис. 1.16. Тела правильной формы

Объем вышеуказанных тел правильной формы определяются нижеследующими формулами.

Объем прямоугольного параллелепипеда:

$$V = a \cdot b \cdot c,$$

где: a и b – длина и ширина основания параллелепипеда, c – его высота.

Объем шара:

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{\pi}{6} d^3,$$

где: r – радиус сферы, d – диаметр сферы.

Объем правильной пирамиды:

$$V = \frac{S_{\text{осн}} h}{3},$$

где: $S_{\text{осн}} = a^2$ – площадь основания пирамиды, a – ребро квадрата (основания пирамиды); h – высота пирамиды.

Как видно из формул, для определения объема прямоугольного параллелепипеда следует измерить его геометрические параметры: a – длину, b – ширину, c – высоту.

Для определения объема сферы необходимо измерить ее радиус (r) или диаметр (d).

Для измерения объема правильной пирамиды требуется измерить ее высоту (h) и длину ребра (a) основания.

6. Для измерения геометрических размеров тел правильной формы используют линейки (в том числе треугольник с прямым углом), измерительные ленты (рулетки), штангенциркуль (рис. 1.17), микрометр (рис. 1.18) и другие измерительные приборы.

Микрометры и штангенциркули являются приборами, использование которых позволяет допускать малую инструментальную погрешность. Поэтому их используют для измерения линейных размеров небольших тел, где требуется высокая точность измерения. Например, штангенциркуль, показанный на рис. 1.17, позволяет измерять размеры тела до 16 см с точностью 0,1 см, а микрометр (рис. 1.18) – с точностью 0,01 см.

Штангенциркуль имеет, кроме основных делений на штанге (a), вторую подвижную шкалу делений по внутреннему краю рамки, называемую *ноннусом* (b). Для измерения линейных размеров тела его зажимают между губками основных и подвижных делений штангенциркуля (рис. 1.19). Как видно из рисунка, величина диаметра шара лежит между 1 и 2 см. Чтобы опреде-

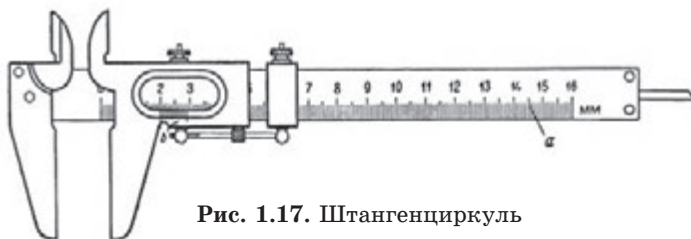


Рис. 1.17. Штангенциркуль

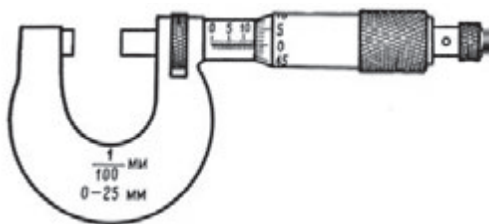


Рис. 1.18. Микрометр

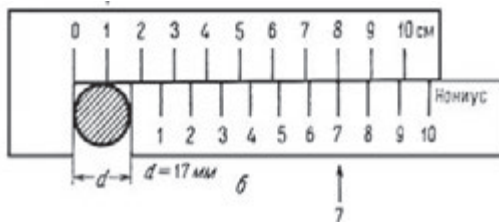


Рис. 1.19. Измерение диаметра шара

лить искомый размер шара с точностью 0,1 см, достаточно посмотреть, какое деление нониуса совпало с делением основной шкалы. На нашем примере 7-е деление нониуса точно совпадает с одним из делений основной шкалы. Следовательно, искомый диаметр шара: $d = 1,7$ см. Подставив измеренное значение диаметра шара в вышеприведенную формулу, находим его объем:

$$V = \frac{\pi}{6} d^3 = \frac{3,14}{6} (1,7 \text{ см})^3 = 2,57 \text{ см}^3 \approx 2,6 \text{ см}^3.$$

Примечание. Диаметр шара определен с точностью 0,1 см; следовательно, его объем также определяется с такой же точностью, т. е. с точностью 0,1 см³.

Если диаметр шара определен с помощью микрометра, то измерение было бы выполнено с точностью 0,01 см, как это показано на его шкале. В этом случае объем шара определяется с точностью 0,01 см³.



Вопросы

1. Что означает «измерение физических величин»? Что называется шкалой прибора и как определяется ее цена деления?
2. Какие приборы, служащие для измерения физических величин, вы знаете? Кратко опишите их.
3. Какие тела относятся к телам правильной формы?
4. Какими формулами определяются объемы таких тел, как куб, прямой параллелепипед, шар, правильная пирамида? Какие измерения необходимы для определения их объема?
5. С какой точностью определяется измеренный объем тела?
6. С какой точностью измеряют линейные размеры тел с помощью штангенциркуля и микрометра?
7. Как и каким прибором измеряют объемы тел неправильной формы?



Практические задания

1. Определите цену деления шкалы и показания приборов, представленных на рис. 1.13. Запишите полученные результаты в таблицу.

Название прибора	Измеряемая физическая величина	Цена деления шкалы прибора	Значение физической величины
Мензурка 1			
Мензурка 2			
Секундомер			

2. Определите цену деления своей линейки. Используя линейку, измерьте длину и ширину тетради.
3. Найдите площадь своей комнаты, измерив ее длину и ширину с помощью измерительной ленты (рулетки).
4. Определите объем жидкости в мензурке, показанной на рисунке, в кубических миллиметрах и литрах.
5. Используя цилиндрическую мензурку (рис. 1.20), осуществите градуирование домашней или лабораторной посуды. Для этого наклейте на ее стенку полосу из миллиметровой бумаги и напишите цифрами объем, соответствующий каждому основному делению.

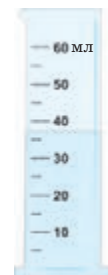


Рис. 1.20.
Мензурка

§ 5

ТОЧНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ И ВЫЧИСЛЕНИЙ

1. В практических расчетах, особенно в научных исследованиях, **точность измерения** физических величин занимает особое место.

Точность измерения зависит от чувствительности прибора и навыка человека, выполняющего измерение. Например, попытаемся измерить длину тела с помощью двух линеек с различной ценой деления (рис. 1.21). Длина тела, измеренная с помощью линейки, изображенной на рис. 1.21, *а*, равна 4 см, а с помощью второй линейки (рис. 1.21, *б*) – 4,1 см. Отсюда видим, что независимо от мастерства человека часто возникают приборные погрешности (ошибки) при измерениях. Таким образом, мы часто сталкиваемся с так называемой **инструментальной (приборной) погрешностью**. Поэтому при записи значения измеренной величины нужно указывать и точность выполненного измерения. Например, точность измерения на рис. 1.21, *а* составляет 0,5 см, а точность измерения на рис. 1.21, *б* – 0,1 см. Результат второго измерения, по сравнению с первым, получен с большей точностью.

2. Кроме инструментальных погрешностей при измерениях возможны и другие ошибки. Например, некорректность выполнения измерения, неумение обращаться с прибором, изменчивость измеряемой величины – всё это увеличивает погрешность измерения. Действительно, в зависимости от глубины температура воды в бассейне может быть разной. При неоднократном измерении диаметра одной и той же проволоки трудно получить одинаковые значения. В этой связи отличают так называемые **абсолютные, относительные** и другие **погрешности**, с которыми вы познакомитесь в старших классах. В начальном курсе физики ограничиваемся показом правильной записи результатов измерений с учетом приборных погрешностей.

При выполнении исследовательских или лабораторных работ принята специальная форма записи значений измеряемых величин. При записи такой формы следует учитывать, что наибольшая погрешность **правильно выполненных измерений с помощью приборов составляет половину цены деления их шкал**. Например, цена деления шкалы первой линейки (рис. 1.21, а) равна 0,5 см, поэтому погрешность измерения равна ее половине, т. е. 0,25 см. Тогда результат измерения длины тела записывают так:

$$l = (4,00 \pm 0,25) \text{ см},$$

где: 4,00 см – измеренная длина тела;

0,5 см : 2 = 0,25 см – допущенная приборная погрешность.

Отсюда вытекает такой вывод: при измерении первой линейкой длина тела l находится в промежутке между 3,75 см и 4,25 см, т.е.:

$$3,75 \text{ см} < l < 4,25 \text{ см}.$$

Цена деления шкалы второй линейки (рис. 1.21, б) – 0,1 см. Измерения длина тела – 4,1 см. Погрешность измерения – 0,1 см : 2 = 0,05 см. Правильная запись значения измеренной величины:

$$l = (4,10 \pm 0,05) \text{ см}, \text{ или } 4,05 \text{ см} < l < 4,15 \text{ см}.$$

Из рассмотренных выше примеров вытекает такой вывод: **чем меньше расстояния между делениями шкалы прибора, тем больше точность измерения**. Как видно, точность измерения, выполненного с помощью второй линейки, выше точности первого измерения.

Обозначив значение измеряемой величины буквой a , а погрешность измерения – h_a , получим **общий вид правильной записи результатов измерения**:

$$A = a \pm h_a, \text{ или } (a - h_a) < A < (a + h_a).$$

3. В физике используются прямой и косвенный методы измерения. При *прямом методе* значение величины определяется непосредственным показанием прибора. Например, время определяют с помощью часов и секундомера, а длину – линейкой.

Во многих случаях непосредственное измерение физической величины невозможно. Например, с помощью линейки нельзя определить объем куба. Однако его можно рассчитать путем измерения линейных размеров (длина, ширина и высота) тела. Поэтому этот способ называют *косвенным*.

Точность расчетов косвенного метода такая же, как и точность линейных измерений. Например, пусть ребро куба a измерено с точностью до второй цифры: $a = 2,4$ см. В этом случае рассчитанное значение его объема должно ограничиться двумя или, в крайнем случае, еще одной лишней цифрой. Тогда

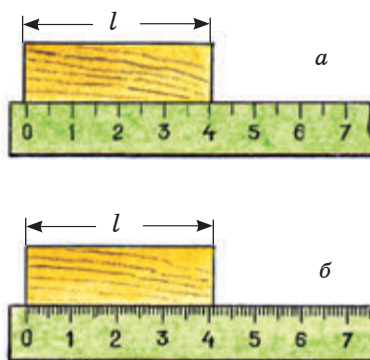


Рис. 1.21. Линейка – простое измерительное средство

рассчитанный объем куба равен не $V = a^3 = 13,824 \text{ см}^3$, а $V = 13,8 \text{ см}^3$, или приближенно $V = 14 \text{ см}^3$.



Вопросы

1. Почему возникают неточности в измерениях? Для чего требуется точность измерений?
2. Из-за чего возникает приборная (инструментальная) погрешность?
3. Как определяется наибольшая приборная погрешность?
4. Как записывают результаты измерения с показом наибольшей погрешности? Приведите примеры.
5. Приведите примеры прямого и косвенного измерений. Какова связь погрешностей при прямом и косвенном измерениях?



Практические задания

1. Определите наибольшую инструментальную погрешность вашей линейки.
2. Измерьте с помощью вашей линейки длину, ширину и толщину учебника физики. Результаты измерения внесите в таблицу.

Измеряемые величины учебника (см)	Правильная запись результатов измерений	
	$A = a \pm h_a$	$(a - h_a) < A < (a + h_a)$
Длина		
Ширина		
Толщина		

§ 6

ОПТИМАЛЬНАЯ ЗАПИСЬ БОЛЬШИХ И МАЛЫХ ЧИСЕЛ

1. В физике и астрономии часто приходится иметь дело с очень большими и слишком малыми числами. Например, расстояние от Земли до Солнца 150 000 000 км, скорость света 300 000 000 м/с (точнее, 299 792 458 м/с), размер молекулы водорода равен 0,000 000 023 см. С такими числами крайне неудобно выполнять математические расчеты. Поэтому для записи очень больших и очень малых чисел используют запись в виде *произведения двух множителей*. Обычно первый множитель – однозначное или двузначное число с запятой, а второй множитель – число 10 с показателем степени. Например, расстояние между Землей и Солнцем можно записать в виде произведения двух чисел (множителей):

$$150\,000\,000 \text{ км} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ км} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}.$$

Здесь 1,5 – *первый множитель*, а 10^8 или 10^{11} – *вторые множители*, 8 и 11 – *показатели степени* числа 10.

Натуральные числа n и m , которые являются показателями степени числа 10, подсказывают, сколько раз число 10 надо умножить само на себя, чтобы получить искомое число.

Например:

$$10^3 = 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1000, \text{ где } n = 3;$$

$$10^6 = 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 10 = 1\,000\,000, \text{ где } m = 6.$$

2. То, что показатель степени числа 10 является натуральным числом, облегчает выполнение умножения и деления при расчетах. При этом умножение числа 10^n на 10^m определяется по формуле:

$$10^n \cdot 10^m = 10^{n+m}.$$

Например, $10^6 \cdot 10^3 = 10^{6+3} = 10^9$. А при выполнении деления используется формула:

$$10^n : 10^m = 10^{n-m}.$$

Например, $10^6 : 10^3 = 10^{6-3} = 10^3$.

При записи десятичных дробей 0,1; 0,01; 0,001 и т. д. в виде произведения двух множителей перед показателем степени числа 10 ставят знак минус (-). Причем значение n показателя степени определяется количеством чисел, расположенных после запятой в десятичной дроби. Например:

$$0,1 = \frac{1}{10} = 10^{-1}, \text{ где } n = -1;$$

$$0,01 = \frac{1}{100} = \frac{1}{10^2} = 10^{-2}, \text{ где } n = -2;$$

$$0,0001 = \frac{1}{10\,000} = \frac{1}{10^4} = 10^{-4}, \text{ где } n = -4.$$

Запись чисел в таком виде очень удобна. Например, диаметр молекулы

$$0,000\,000\,023 \text{ см} = \frac{23}{10^9} = \frac{2,3}{10^8} = 2,3 \cdot 10^{-8} \text{ см}.$$

Безусловно, запись числа 0,000 000 023 в виде $2,3 \cdot 10^{-8}$ намного проще.

3. *Оптимальная запись чисел с использованием степени 10 позволяет облегчить математические операции над большими и малыми числами.*

Для оптимальной записи числа в виде $x = a \cdot 10^n$ необходимо выполнение следующих условий: во-первых, число a может принять любое положительное целое число или дробное до двух цифр между 1 и 10 ($1 \leq a \leq 10$); во-вторых, n – любое целое число (положительное, отрицательное и ноль); в-третьих, число 10 с нулевой степенью принято считать равным единице ($10^0 = 1$). Например, число 5 можно записать как произведение двух множителей в таком виде:

$$5 = 5 \cdot 10^0.$$

Математическое преобразование оптимально записанных чисел выполняется гораздо легче. Пусть даны оптимально записанные числа $x = a \cdot 10^n$ и $y = b \cdot 10^m$. Тогда их произведение определяется по формуле:

$$x \cdot y = a \cdot b \cdot 10^{n+m}.$$

Например:

$$x \cdot y = 4,5 \cdot 10^5 \cdot 2,0 \cdot 10^3 = 4,5 \cdot 2,0 \cdot 10^{5+3} = 9,0 \cdot 10^{5+3} = 9,0 \cdot 10^8.$$

Деление этих чисел определяется по формуле:

$$\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{n-m}.$$

Например:

$$x : y = 5,0 \cdot 10^6 : 2,5 \cdot 10^2 = 5,0 : 2,5 \cdot 10^{6-2} = 2,0 \cdot 10^{6-2} = 2,0 \cdot 10^4.$$

Для суммирования и вычитания оптимально записанных чисел показатели степеней числа 10 выравнивают. Далее при суммировании или вычитании число 10 с одинаковыми степенями выносят за скобку. Например:

$$6,0 \cdot 10^2 + 4,0 \cdot 10^3 = 0,6 \cdot 10^3 + 4,0 \cdot 10^3 = (0,6 + 4,0) \cdot 10^3 = 4,6 \cdot 10^3;$$

$$3,5 \cdot 10^4 - 2,0 \cdot 10^3 = 3,5 \cdot 10^4 - 0,2 \cdot 10^4 = (3,5 - 0,2) \cdot 10^4 = 3,3 \cdot 10^4.$$

В математике оптимальная запись больших и малых чисел называется также **стандартной записью**.



Вопросы

1. Каким образом осуществляется оптимальная запись числа?
2. Что означает число 10^n , если показатель степени n – положительное натуральное число? Приведите примеры.
3. Что означает число 10^{-n} , если показатель степени n – отрицательное целое число? Приведите примеры.
4. Какие условия предъявляются к оптимально записанным числам для выполнения над ними математических операций? Что означает число 10^0 ?
5. Как выполняют умножение двух чисел вида 10^n и 10^m , если показатели n и m – целые числа?
6. Как выполняют деление двух чисел вида 10^n и 10^m , если показатели n и m – целые числа?
7. Как выполняют сложение и вычитание чисел, записанных в оптимальном виде? Приведите примеры.



Теоретическое исследование

Труженики Казахстана в 2016 г. собрали 23,7 млн. т зерновых культур. Для хранения 1 т зерна необходима бочка диаметром 1 м и высотой 2 м. Достигнет ли Луны их общая высота, если весь урожай 2016 г. поместить в такие бочки? Говорят, что их общая высота намного больше, чем расстояние от Земли до Луны. Верно ли такое утверждение? Проверьте, написав числа в расчетах в стандартном виде. Результаты исследования обсудите в группе.



Упражнения 1.2

1. Представьте в оптимальном виде числа: 8 300; 816 200 000; 0,0527; 0,000 000 029.
2. Выполните действия: 10^7 ; 10^5 ; $10^8 \cdot 10^{-3}$; $10^{-6} \cdot 10^{-6}$; $10^8 : 10^{-3}$; $10^{-5} : 10^{-7}$.
3. Определите по карте наименьшее расстояние в километрах от Алматы до Астаны. Используя оптимальный вид, запишите найденное число в метрах.

4. Рассчитайте объем комнаты, длина которой $8,1 \cdot 10^2$ см, ширина $5,2 \cdot 10^2$ см, высота $3,0 \cdot 10^2$ см. Выполните умножение чисел, данных в оптимальном виде. Запишите значение объема комнаты в м^3 .
5. Представьте в оптимальном виде числа: 0,000 15; 1 490 000; 0,000 000 08; 30 000 с точностью в две значащие цифры.
6. Запишите значение скорости света в оптимальном виде с точностью: а) до четырех значащих цифр первого множителя; б) до двух значащих цифр первого множителя.
7. Одни сутки содержат 24 ч, 1 ч – 60 мин, 1 мин – 60 с. Определите, сколько секунд в одних сутках, запишите найденный результат с точностью до третьего знака в оптимальном виде.
8. Один год равен 31 556 925,9747 с. Запишите это число с точностью до третьего знака в оптимальном виде.
9. Одна астрономическая единица (а. е.) равна 149 597 868 км. Расстояние от Марса до Солнца равно 1,5 а. е. Вычислите расстояние от Марса до Солнца в метрах и километрах с точностью в три значащие цифры.



Практические задания

1. Определите цену деления шкалы лабораторной школьной мензурки. Какой самый большой объем жидкости в литрах можно измерить ею?
2. Что означают в наименованиях единиц длины следующие приставки: *кило-, гекто-, дека-, деци-, санти-, милли-, микро-*?
На примере длины, равной 1 м, покажите соотношения между ними, пользуясь *стандартной записью чисел*.
3. Используя *стандартную запись чисел*, определите объем вашей комнаты в единицах измерений: *м, дм и см*.
4. Уходя в школу, зафиксируйте с помощью вешки (камня) во дворе своего дома тень от ствола дерева или столба. Возвращаясь из школы, снова отметьте место нахождения этой тени. Почему тень столба поворачивается? За какой период времени тень совершает полный круг? Можно ли, используя это явление, построить солнечные часы? Обсудите этот проект с учителем и родителями. В чем достоинства и недостатки таких часов?
5. Определите и запишите цену деления шкал мерных кружек, медицинского шприца, детских бутылочек для молока. Определите объем той посуды (кружки, чашки, стакана, тарелки), которой вы часто пользуетесь.

Лабораторная работа № 1

Определение размеров малых тел

Цель работы: приобретение навыков выполнения измерения малых величин способом рядов.

Приборы и материалы: линейка, набор малых тел (дробинки, шарики от шарикоподшипника, горошины, пшено, обрезки проволоки и т. д.), желоб, винт или шуруп (болт и гайка).

Задание 1. Измерение диаметра шарика.

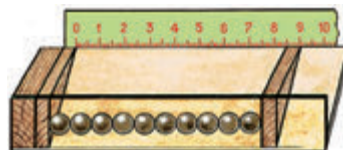


Рис. 1.22. Желоб с рядом шариков

Ход работы.

1. Установите несколько однородных шариков в желоб, с помощью двух подвижных зажимов прижмите их друг к другу (рис. 1.22). Измерьте с помощью линейки расстояние L между двумя зажимами. Разделив это расстояние на число шариков N , определите диаметр одного шарика:

$$d = \frac{L}{N}.$$

Вышеописанный способ, по которому определяют размеры малых тел, называют *способом рядов*.

2. Способом рядов определите размеры (диаметры) некоторых малых тел.
3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.

Исследуемое тело	Число частиц в ряду (N)	Длина ряда (L , мм)	Диаметр (d , мм)	Погрешность измерения диаметра (h_d , мм)
Шарик				
Горошина				
Обрезок проволоки				

Задание 2. Измерение шага винта.

Ход работы.

1. Шагом винта называют расстояние между двумя соседними витками резьбы. Шаг винта может быть очень незначительным, поэтому для его определения также используют способ рядов.

2. Измерьте линейкой длину части винта L , на которой расположены витки резьбы. Затем посчитайте точное число витков резьбы N . Шаг винта определяется выражением: $d = \frac{L}{N}$.

3. При определении шага винта (особенно в тех случаях, когда резьба расположена с внутренней стороны гайки) можно получить более точный результат, если рельеф от резьбы перенести на бумагу. Для этого поверхность, на которой расположена резьба, надо покрасить чернилами или мягким графитом (карандашом).

4. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Исследуемое тело	Длина резьбы (L , мм)	Число витков (N)	Шаг винта (d , мм)	Погрешность измерения шага винта (h_d , мм)
Винт				
Гайка				
Шуруп				

Лабораторная работа № 2

Измерение физических величин

Цель работы: определение цены деления шкалы приборов, предназначенных для измерения времени и длины; измерение длины и ширины поверхности стола и определение его площади; определение объема учебника физики; определение времени падения небольших тел с разной высоты.

Приборы и материалы: ученическая линейка, измерительная рулетка, секундомер или часы со секундой стрелкой, столы классные, учебники по физике, шарики теннисные и монеты.

Задание 1. Определение цены деления шкалы измерительных приборов (линейки, рулетки, секундомера или часов).

Ход работы.

1. Определите единицу измерения и цену деления шкалы прибора, а также инструментальную погрешность измерения.

2. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Наименование измерительных приборов	Единицы измерения шкалы	Цена деления шкалы	Наибольшая инструментальная погрешность
Ученическая линейка			
Рулетка			
Секундомер или часы			

Задание 2. Определение площади поверхности классного стола и объема учебника физики с использованием оптимальной записи чисел в Международной системе единиц.

Ход работы.

1. Измерьте длину (x) и ширину (y) поверхности классного стола; определите ее площадь ($S = x \cdot y$) в Международной системе единиц. Используя оптимальную запись чисел, представьте значение площади с точностью до двух цифр первого множителя.

2. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Объект измерения	Данные с указанием приборной погрешности		Площадь поверхности (m^2)
	длина (м)	ширина (м)	
Ученический стол			

3. Измерьте длину (x), ширину (y) и толщину (z) учебника физики; определите его объем ($V = x \cdot y \cdot z$), используя оптимальную запись чисел; пред-

ставьте значение объема с точностью до двух или трех цифр первого множителя.

4. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Объект измерения	Данные с указанием приборной погрешности			Объем книги (м ³)
	длина (м)	ширина (м)	толщина (м)	
Книга (учебник)				

Задание 3. Определение времени падения теннисного шарика и монеты достинством 10 или 20 тенге с разной высоты.

Ход работы.

1. Определите время падения шарика и монеты с высоты 1 м и 2 м. Проведите по три измерения времени падения с каждой высоты и определите среднее время ($t_{cp} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$).

2. Результаты измерений внесите в таблицу.

Объект измерения	Порядок измерений	Время падения тел (с)		Среднее время падения тел (с)	
		$h_1 = 1$ м	$h_2 = 2$ м	$h_1 = 1$ м	$h_2 = 2$ м
Монета	№ 1	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_{cp} =$	$t_{cp} =$
	№ 2	$t_2 =$	$t_2 =$		
	№ 3	$t_3 =$	$t_3 =$		
Шарик	№ 1	$t_1 =$	$t_1 =$	$t_{cp} =$	$t_{cp} =$
	№ 2	$t_2 =$	$t_2 =$		
	№ 3	$t_3 =$	$t_3 =$		

3. Обменяйтесь результатами измерения друг с другом и ответьте на следующие вопросы:

- Было ли одинаковым время падения монеты и шарика с одной и той же высоты? Что было бы, если бы тела падали в безвоздушном пространстве (вакууме)? Ответы обоснуйте.
- Увеличилось ли время падения шарика или монеты в два раза из-за увеличения высоты с 1 м до 2 м? Сопоставив результаты измерения, сделайте выводы о движении падающих тел.

Самое важное в главе 1

1. **Явление природы** – любое изменение, происходящее в природе.
2. **Физика** – научный и учебный предмет, изучающий физические явления природы.
3. **Основные методы изучения природы:**
 - 1) наблюдение;
 - 2) эксперимент;
 - 3) теоретический анализ.
4. **Гипотеза** – предположение, выдвинутое на основе научных фактов, накопленных в процессе наблюдения природы.
5. **Физическая теория** – система знаний, объясняющая физические явления в их закономерной взаимосвязи.
6. **Измерение** – сравнение физической величины с однородной величиной, принятой за единицу.
7. **Физическая величина** – количественная характеристика свойства физического объекта или физического явления, представленная числом с единицами измерения.
8. **Скаляр** – величина, значение которой определяется одним числом, без учета направления.
9. **Вектор** – направленный отрезок прямой.
10. **Стандартная (оптимальная) запись числа** – представление числа в виде произведения двух множителей, одним из которых является число 10 с показателем степени.



ГЛАВА

2



МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ



ПРОГРАММНЫЕ ЦЕЛИ:

- объяснять смысл понятий: *материальная точка, система отсчета, относительность механического движения, траектория, путь, перемещение;*
- приводить примеры относительности механического движения;
- различать прямолинейное равномерное и неравномерное движение;
- вычислять скорость и среднюю скорость движения тел;
- строить график зависимости пути от времени, применяя обозначение единиц измерения на координатных осях графиков и в таблицах;
- определять по графику зависимости перемещения тела от времени, когда тело:
 - 1) находится в состоянии покоя,
 - 2) движется с постоянной скоростью;
- находить скорость тела по графику зависимости перемещения от времени при равномерном движении.

В данной главе рассматриваются такие важнейшие для понимания научного языка физики понятия, как *механическое движение, материальная точка, траектория движения, перемещение, равномерное и неравномерное движение, скорость, средняя скорость.*

§ 7

МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ. СИСТЕМА ОТСЧЕТА

1. С первых дней своей жизни мы обращаем внимание на различные изменения, происходящие в окружающей нас среде. Одним из таких изменений является движение. Например, когда мы наблюдаем бороздящий океан корабль и поднимающуюся в космос ракету (рис. 2.1) или плывущие по небу облака, летящий самолет, едущий автомобиль и движущихся людей (рис. 2.2), то во всех этих случаях говорят, что тело движется. Движение больших и малых тел как явление природы изучает специальный раздел физики, называемый *механикой*.



Рис. 2.1. Корабль и ракета в движении

Общим признаком для всех видов движения является изменение положения тела относительно других тел. Поэтому специально выбранное тело, по отношению к которому определяется положение рассматриваемого движущегося тела, называется *телом отсчета*.

Иногда возможно движение не всего тела, а только некоторой его части. Например, во время выполнения гимнастических упражнений руки и ноги у прямо стоящего человека изменяют свое положение относительно его тела. Точно так же при растягивании или сжатии пружины изменяется положение ее одной части относительно других частей. В этом случае говорят, что тело движется, так как одна его часть перемещается относительно другой части.

Из приведенных выше примеров можно сделать такой вывод: *механическим движением называют изменение положения тела относительно другого тела с течением времени.*



Рис. 2.2. Траектории движения пешехода и автомобиля

2. Во многих случаях, когда характеризуют механическое движение какого-либо тела, упрощенно его рассматривают как *материальную точку*. В самом деле, когда размеры тела ничтожно малы по сравнению с расстоянием до другого тела, то нет необходимости описывать движение каждой его точки. В таких случаях можно пренебречь размерами самого тела и описать его движение как перемещение лишь одной точки. Например, размер корабля, плывущего в океане, по сравнению с расстоянием пройденного им пути ничтожно мал, поэтому при описании движения корабля по океану его рассматривают как точку.

При изучении движения небесных тел, движущихся вокруг Солнца, также рассматривают их как отдельные точки. Например, радиус Земли по сравнению с расстоянием от Земли до Солнца меньше приблизительно в 2400 раз. Поэтому достаточно рассматривать движение только одной точки – центра Земли. При этом следует помнить, что эта точка *материальная* и она не имеет размеров.

Таким образом, *материальной точкой называется тело, размерами которого можно пренебречь в условиях рассматриваемой задачи.*

В действительности в природе нет никакой материальной точки. Она является выдуманной упрощенной точечной *моделью* конкретного тела. Это понятие введено для удобства решения некоторых задач в механике.

3. Часто возникает и такая ситуация, когда тело нельзя рассматривать как точку. Например, при строительстве корабля, а также при отплытии его от берега или приближении к берегу он не может рассматриваться как точка. Точно так же нельзя пренебрегать размерами и формой Земли при рассмотрении смены дня и ночи в той или иной местности.

При описании какого-либо движения возможность принятия тела за материальную точку зависит не от самого тела, а от характера движения, от содержания вопроса, который необходимо решить. Если истинные размеры тела не играют главной роли при решении вопроса, то его можно рассматривать как материальную точку. А если относительные размеры тела имеют важное значение в рассматриваемом движении, то тело нельзя принимать за материальную точку.

4. Для характеристики механического движения вводят и такие понятия, как *перемещение, траектория движения и пройденный путь.*

Предположим, что путешественник летит самолетом или едет поездом из Алматы в Астану. Линии, по которым в действительности движутся самолет и поезд, не совпадают друг с другом. Самолет летит почти по прямой линии, а поезд, останавливаясь в разных городах, движется по кривой.

В качестве еще одного примера рассмотрим движение пешехода и автомобиля (рис. 2.2). Пешеход и автомобиль движутся из точки A в точку B . Они доберутся до точки B , двигаясь по разным линиям.

*Линия, которую описывает материальная точка при своем движении, называется **траекторией движения**.*

*Длина траектории движения называется **пройденным путем**. Пройденный путь тела и его положения в пространстве определяются относительно выбранной системы отсчета.*

*Направленный отрезок, соединяющий начальную точку движения тела с его конечной точкой, называется **вектором перемещения**.*

Вектор перемещения часто называют просто **перемещением**. На рис. 2.2 вектор перемещения представлен направленным отрезком \overline{AB} , а траектории движения представляют пунктирные линии.

5. Для полной характеристики механического движения необходимо определить *время* и *пройденный путь*, т.е. положение движущегося тела в пространстве и времени.

Для определения положения тела используется прямоугольная **декартова система координат** (x, y, z). Эта система координат закрепляется за телом отсчета, которое условно считается «неподвижным». Примером такого «неподвижного» тела отсчета служат равномерно движущийся вагон (рис. 2.3), Земля (рис. 2.4) или другие объекты на ее поверхности, а также Солнце и другие звезды.

Для определения отрезков времени в разных точках системы координат помещаются синхронно идущие часы. Таким образом снимается характеристика хода движения во времени.

Связывая с телом отсчета декартову систему координат и отсчитывающих время синхронно идущих часов, получают *систему отсчета*, в которой определяется положение тела (материальной точки) в пространстве.

Системой отсчета в механике называют систему координат, связанную с выбранным телом отсчета и часами.



Рис. 2.3. Система отсчета закреплена в вагоне

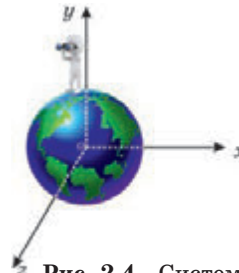


Рис. 2.4. Система отсчета закреплена на Земле



Вопросы

1. Какой раздел физики изучает механическое движение? Какое движение называется механическим? Объясните, приводя примеры.
2. Какая точка называется материальной? В каких случаях тело можно рассматривать как материальную точку, а в каких – нет?
3. Что мы подразумеваем под траекторией движения?
4. Что называется пройденным путем?
5. Какая величина называется вектором перемещения?
6. Какие величины необходимы для полного описания механического движения и что нужно делать для их определения?
7. Какое тело называется «телом отсчета»? Какая система называется «системой отсчета»?

§ 8

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Если рассмотреть траектории движущегося тела относительно различных тел отсчета, то наблюдаем их резкое изменение. В этом можно убедиться на следующем примере. Пусть с верхней полки вагона, движущегося равномерно со скоростью v , падает мяч. Относительно пассажира, находящегося в вагоне, мяч падает по вертикальной прямой (рис. 2.5, а). А относительно человека, находящегося на Земле, траектория падения этого мяча будет выглядеть как параболическая кривая (рис. 2.5, б). Таким образом, когда системой отсчета служит вагон, траектория мяча представляет прямую линию. А если в качестве системы отсчета выбрана Земля, то траектория этого же мяча представляет кривую линию.

Подобные изменения траектории наблюдаются и в движении небесных тел. Например, траектория Луны относительно Земли представляет собой

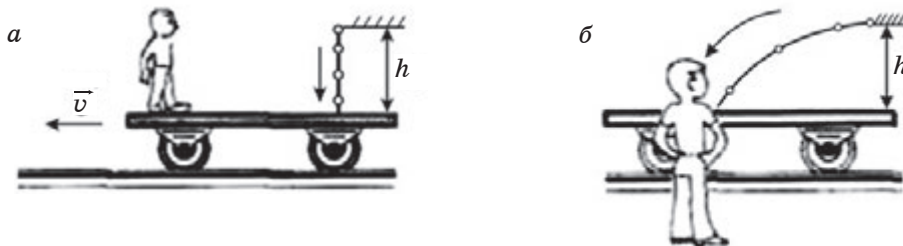


Рис. 2.5. Траектория движения падающего мяча в системах счета относительно вагона и Земли

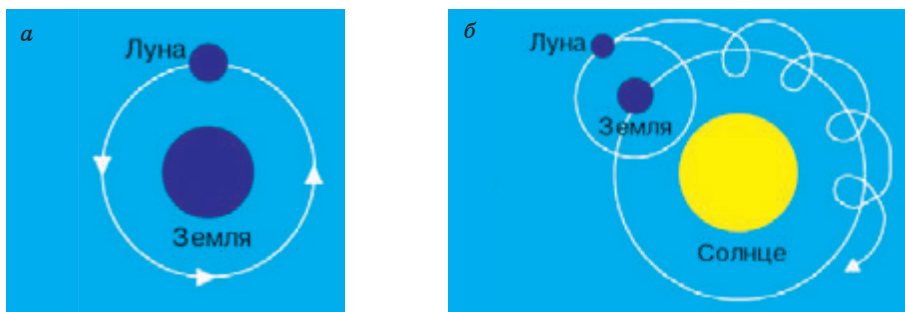


Рис. 2.6. Траектория движения Луны в системах отсчета относительно Земли и Солнца

окружность, а относительно Солнца – спираль, растянутую по орбите Земли (рис. 2.6).

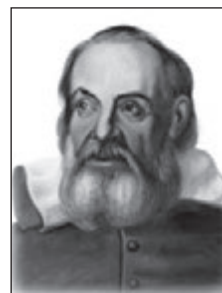
Все это является *реальным проявлением относительности* механического движения.

2. Первый научный вывод об относительности движения принадлежит Галилею. Он, изучив механические движения в различных системах отсчета, сформулировал принцип, вошедший в историю науки под названием **принцип относительности Галилея**.

Галилей провел многочисленные опыты, рассматривая различные механические движения в закрытой каюте корабля, находящегося в покое или движущегося равномерно. Во всех случаях он не смог определить, совершает ли корабль равномерное движение или находится в покое. Исходя из этого он сделал совершенно справедливый вывод, что *все явления, связанные с механическим движением, происходят одинаково независимо от того, покоится корабль или движется прямолинейно и равномерно*.

Данный вывод, получивший название **принцип относительности Галилея**, в общем виде был сформулирован следующим образом: *во всех системах отсчета, которые движутся относительно друг друга прямолинейно и равномерно, движение любого тела происходит одинаково*.

3. Покоящийся корабль, внутри которого провел опыты Галилей, был одной системой отсчета. А корабль, движущийся относительно первого корабля прямолинейно и равномерно – другой системой отсчета. Однако в обеих системах механические явления происходили абсолютно одинаково. Поэтому такие системы отсчета, где механические явления проявляют себя совершенно одинаково, в физике названы **инерциальными системами отсчета**.



Галилео Галилей
(1564–1642)

Следовательно, *все системы отсчета, которые движутся относительно друг друга прямолинейно и равномерно, являются инерциальными.*



Вопросы

1. Как можно объяснить относительность движения?
2. На основе каких опытов был установлен принцип относительности Галилея и как он формулируется?
3. Какие системы отсчета называются инерциальными?



§ 9.

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

1. Среди многочисленных видов движения встречается и такое, когда тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые отрезки пути.

Если тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковый путь, то такое движение называется равномерным. Самый простой вид равномерного движения – *прямолинейное равномерное движение*. Например, равномерно движется поезд на ровном прямолинейном участке железной дороги. В этом случае звуки, издаваемые при ударах колес о места соединения рельсов, имеющих одинаковую длину, слышны через равные промежутки времени. Если смотреть на телеграфные столбы из окна вагона, то можно заметить, что они остаются позади, мелькая через равные промежутки времени.

Примерами равномерного движения являются падение капель дождя, всплывание мелких пузырьков газированной воды в стакане, движение парашютиста после раскрытия парашюта. Однако равномерное движение редко встречается в природе.

2. Во многих случаях движение бывает неравномерным. Например, поезд в начале своего движения, набирая скорость, за равные промежутки времени проходит все большее расстояние. А перед остановкой на следующей станции, наоборот, за равные промежутки времени проходит все меньшее и меньшее расстояние. Автомобиль и конькобежец точно так же в начале и в конце своего движения за равные промежутки времени проходят неодинаковый путь. *Если тело за любые равные промежутки времени проходит разные отрезки пути, то такое движение называется неравномерным.*

Наблюдать равномерное и неравномерное движение можно при проведении следующего опыта. На тележке установлена капельница (водяные часы). Из капельницы через равные промежутки времени капает вода. Подвешивая на веревке различные грузы, приведем в движение тележку и каждый раз

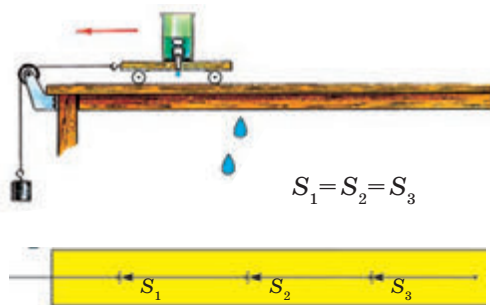


Рис. 2.7. Равномерное движение

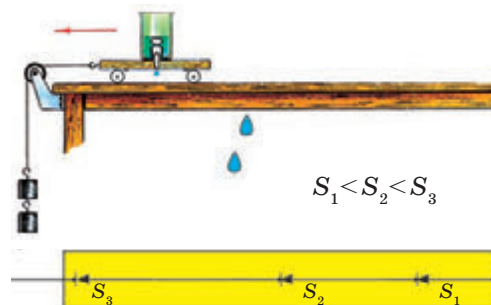


Рис. 2.8. Неравномерное движение

измеряем расстояние между каплями на бумаге. Если расстояние S_1 , S_2 , S_3 и т. д. между каплями на бумаге одинаковое ($S_1 = S_2 = S_3$), то это означает, что тележка совершила равномерное движение (рис. 2.7).

Если же измеренные расстояния между каплями на бумаге будут неодинаковыми ($S_1 < S_2 < S_3$), то это свидетельствует о неравномерности движения тележки (рис. 2.8).



Вопросы

1. Какое движение называется равномерным?
2. Как определяется неравномерное движение?
3. Какие примеры равномерного движения вы можете привести?
4. Какие примеры неравномерного движения вы можете привести?
5. С помощью какого опыта можно наблюдать равномерное и неравномерное движение?

§ 10

СКОРОСТЬ И РАСЧЕТ СРЕДНЕЙ СКОРОСТИ

1. Рассмотрим движение тела, траекторией которого является прямая линия. Пусть тело за время $\Delta t = t_2 - t_1$ совершает перемещение с точки x_1 до точки x_2 по оси Ox (рис. 2.9). В этом случае **вектором перемещения** является направленный отрезок $\overline{M_1M_2} = \Delta \vec{x}$.

2. Наблюдая движение тел, мы замечаем, что разные тела одно и то же расстояние проходят в разное время. Другими словами, в одно и то же время тела проходят разные расстояния. И в самом деле, если человек за 1 мин проходит примерно 100 м, то искусственный спутник Земли за это время пролетает 500 км, а луч света покрывает расстояние 18 млн. км.

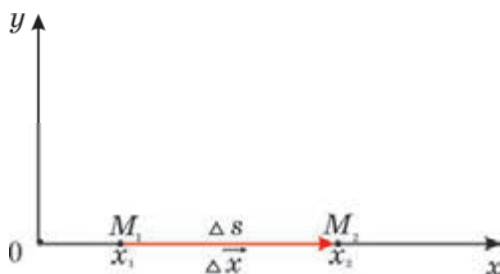


Рис. 2.9. Прямолинейное движение

Для того чтобы сравнить движение одного тела с другим, вводят понятие *скорость движения*.

Путь, пройденный в единицу времени, называется скоростью. Скорость равна отношению перемещения ($\Delta \vec{x}$) к промежутку времени (Δt), за которое оно произошло:

$$\text{скорость} = \frac{\text{перемещение}}{\text{время}}, \text{ или } v = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}.$$

Из приведенных выше определений и формулы вытекает, что *скорость прямо пропорциональна перемещению*. Стало быть и *скорость, как и перемещение, является векторной величиной*.

3. Определим скорость прямолинейного равномерного и неравномерного движения.

Когда тело за время $\Delta t = t_2 - t_1$ совершает прямолинейное равномерное движение, то модуль вектора перемещения совпадает с пройденным путем: $|\Delta \vec{x}| = \Delta s$ (рис. 2.9). Следовательно, скорость прямолинейного равномерного движения определяется и по формуле:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

Для прямолинейного равномерного движения и отрезки расстояния, и отрезки времени – постоянные величины: $\Delta s = s = const$; $\Delta t = t = const$.

Следовательно, последнюю формулу можем представить в более простом виде:

$$v = \frac{s}{t}.$$

По этой формуле определяется численное значение скорости любого равномерного движения.

4. Когда тело движется неравномерно, тогда определяют его *среднюю скорость* движения. Для определения средней скорости движения применяют формулу:

$$v_{\text{cp}} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$

где $s = s_1 + s_2 + \dots + s_n$ – весь пройденный путь неравномерного движения, $t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$ – суммарное время движения.

Примечание. Не следует путать физическую среднюю скорость $\left(v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \right)$ неравномерного движения с математическим средним значением скоростей

$\left(v_{\text{cp}} = \frac{v_1 + v_2 + \dots + v_n}{n} \right)$ на отдельных участках пути.

5. В Международной системе единицей скорости является метр в секунду (м/с). Эта скорость означает, что точка, движущаяся равномерно и прямолинейно, за 1 с перемещается на 1 м.

Скорость тела (материальной точки) может быть и положительной, и отрицательной. Если тело (точка) движется вдоль направления координатной оси, то и скорость положительна. Если тело движется противоположно направлению оси, то и скорость будет отрицательной. Например, если, направив ось координат вверх, подбросим мяч в этом направлении, то скорость при его движении вверх будет положительной, а при движении вниз – отрицательной.

Если известна скорость равномерного движения тела, то с помощью формулы $v = \frac{s}{t}$ можно найти путь, пройденный им за этот промежуток времени:

$$s = v \cdot t.$$

Если же известны скорость тела при равномерном движении и пройденный им путь, то можно найти время, потраченное на это движение:

$$t = \frac{s}{v}.$$

Примеры решения задач

При решении любых задач предлагаем использовать указанную ниже формулу записи, которая направляет умственную деятельность учащихся, прежде всего, на *теоретический анализ содержания* задачи.

1. Автобус из Алматы до Сарыозека прошел 180 км за 2,5 ч. Считая движение автобуса равномерным, нужно найти его скорость в Международной системе единиц.

Дано:	СИ	Теоретический анализ содержания задачи
$s = 180$ км	$18 \cdot 10^4$ м	Автобус совершает равномерное движение. Следовательно, его скорость определяется по формуле: $v = s/t$.
$t = 2,5$ ч	$9 \cdot 10^3$ с	
$v - ?$		

Решение.

$$v = \frac{s}{t} = \frac{18 \cdot 10^4 \text{ м}}{9 \cdot 10^3 \text{ с}} = 20 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 20$ м/с.

2. Земля движется вокруг Солнца со скоростью 30 км/с. Какой путь пройдет Земля за один урок, т. е. за 45 мин?

Дано:	СИ	Теоретический анализ содержания задачи
$v = 30 \text{ км/с}$ $t = 45 \text{ мин}$	$3 \cdot 10^4 \text{ м/с}$ $27 \cdot 10^2 \text{ с}$	Земля вращается вокруг Солнца равномерно. Поэтому, используя формулу равномерного движения, можно определить пройденный путь Земли за указанное время: $s = v \cdot t.$
$s - ?$		

Решение.

$$s = v \cdot t = 3 \cdot 10^4 \text{ м/с} \cdot 27 \cdot 10^2 \text{ с} = 81 \cdot 10^6 \text{ м} = 81 \cdot 10^6 \cdot 10^{-3} \text{ км} = 81 \cdot 10^3 \text{ км} = 81\,000 \text{ км}.$$

Ответ: $s = 81\,000 \text{ км}.$

3. Автомобиль прошел путь 1500 м со скоростью 36 км/ч. Нужно найти время, затраченное на этот путь.

Дано:	СИ	Теоретический анализ содержания задачи
$s = 1500 \text{ м}$ $v = 36 \text{ км/ч}$	1500 м 10 м/с	Автомобиль с постоянной скоростью совершил равномерное движение. Следовательно, используя формулу равномерного движения $v = s/t$, находим затраченное время: $t = s / v.$
$t - ?$		

Решение.

$$t = \frac{s}{v} = \frac{1500 \text{ м}}{10 \text{ м/с}} = 150 \text{ с} = \frac{150}{60} \text{ мин} = 2,5 \text{ мин} = 2 \text{ мин } 30 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 2 \text{ мин } 30 \text{ с}.$



4. Автомобиль первые 40 мин двигался со скоростью 60 км/ч, следующие 20 мин – со скоростью 30 км/ч. Какова средняя скорость автомобиля в м/с?

Дано:	СИ	Теоретический анализ содержания задачи
$t_1 = 40 \text{ мин}$ $v_1 = 60 \text{ км/ч}$ $t_2 = 20 \text{ мин}$ $v_2 = 30 \text{ км/ч}$	2400 с 17 м/с 1200 с 8 м/с	Автомобиль двигался неравномерно с разной скоростью. В первой половине пути он двигался равномерно со скоростью v_1 , а на второй половине – также равномерно, но с другой скоростью v_2 . Следовательно, пройденный путь на первой половине дороги определяется по формуле: $s_1 = v_1 \cdot t_1$, а на второй половине – $s_2 = v_2 \cdot t_2$. Средняя скорость неравномерного движения определяется путем деления всего пройденного пути ($s = s_1 + s_2$) на суммарное время, затраченное на первой и второй частях дороги ($t = t_1 + t_2$): $v_{cp} = \frac{s}{t} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2}.$
$v_{cp} - ?$		

Решение.

$$v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2}{t_1 + t_2} = \frac{v_1 \cdot t_1 + v_2 \cdot t_2}{t_1 + t_2} = \frac{17 \text{ м/с} \cdot 2400 \text{ с} + 8 \text{ м/с} \cdot 1200 \text{ с}}{2400 \text{ с} + 1200 \text{ с}} = 14 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v_{\text{cp}} = 50 \text{ км/ч}$ или, $v_{\text{cp}} = 14 \text{ м/с}$.

Определим теперь арифметическое среднее значение скоростей v_1 и v_2 движения на обеих частях дороги:

$$v_{\text{cp}}^1 = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{17 \text{ м/с} + 8 \text{ м/с}}{2} = 12,5 \text{ м/с.}$$

Как видно, средняя скорость неравномерного движения отличается от средней арифметической скорости ($14 \text{ м/с} > 12,5 \text{ м/с}$).



Вопросы

1. Какую величину называют перемещением?
2. Чем отличается пройденный путь от перемещения? Приведите примеры.
3. Наблюдая за движением футболистов, установили, что нападающий во время игры пробежал около 12 км. Является ли это расстояние длиной перемещения или длиной пути, пройденного им?
4. Вернувшись из поездки, водитель обнаружил, что показания спидометра увеличились на 300 км. Что это означает: длину пути, пройденного автомобилем, или длину перемещения?
5. Что называется скоростью движения? Какими единицами она измеряется?
6. В каких случаях скорость будет положительной, а в каких – отрицательной?
7. Какими формулами определяются скорость и модуль скорости равномерного прямолинейного движения?
8. В каком случае вводится величина, называемая средней скоростью? Как она вычисляется?



Упражнения 2.1

1. Можно ли определить конечное место нахождения тела, если известно начальное его место и дальнейший пройденный путь? Ответы обоснуйте на примере.
2. Найдите по табл. 3 Приложения скорость пешехода, конькобежца, тепловогоз и определите путь, пройденный этими телами за 10 с (устно).
3. Велосипедист, двигаясь равномерно, за 30 мин преодолел 9 км. Найдите его скорость в м/с.
4. Самолет летит со скоростью 750 км/ч. Какой путь он пройдет за 6 ч полета?
5. Расстояние от Солнца до Земли приблизительно составляет 150 млн. км. Скорость света равна 300 тыс. км/с. За какое время луч Солнца достигнет Земли?
6. В течение $t_1 = 20 \text{ с}$ тело двигалось со скоростью $v_1 = 20 \text{ м/с}$, в течение следующих $t_2 = 20 \text{ с}$ – со скоростью $v_2 = 30 \text{ м/с}$. Какова средняя скорость тела?
7. Половину времени движения из одного города в другой автомобиль перемещался со скоростью 60 км/ч. С какой скоростью он двигался во второй половине времени своего пути, если средняя скорость автомобиля равна 65 км/ч?
8. Первые 9 км автобус прошел со скоростью 36 км/ч, а следующие 27 км – со скоростью 54 км/ч. Какова средняя скорость автобуса?

9. За первые 0,5 ч велосипедист преодолел 10 км, следующие 12 мин он ехал со скоростью 25 км/ч. Остальные 9 км ехал со скоростью 18 км/ч. Какова средняя скорость велосипедиста: а) на протяжении всего пути? б) в первой половине пути?



Практические задания

1. На рис. 2.10 показаны тепловоз и вагоны, выпускаемые в Казахстане. Состав поезда «Тулпар – Тальго» состоит из таких тепловоза и вагонов. Используя интернет-источники, напишите краткий реферат с описанием характеристик этих тепловозов и вагонов.



Рис. 2.10. Поезд «Тулпар – Тальго»

2. Выбрав масштаб, нарисуйте примерную траекторию пройденного вами пути от дома до школы, а также обратного пути от школы до дома. Каков ваш пройденный путь? Чему равно перемещение?

Экспериментальное исследование

1. Определите скорость тела при прямолинейном равномерном движении.
Оборудование: стеклянная трубка с водой, стеариновый шарик (пузырек воздуха), таймер (секундомер), маркер, измерительная линейка.
 Расположив стеклянную трубку с водой вертикально, держите ее в таком положении до тех пор, пока стеариновый шарик не поднимется к верхнему концу трубки. Одновременно с запуском таймера поверните трубку на 180° и определите время, за которое шарик проходит всю длину трубки. Отметьте маркером половину трубки и убедитесь, что за половину времени движения шарик проходит половину длины трубки. Теперь разделите трубку на три, а затем на четыре равные части и, проведя опыты, убедитесь в том, что за треть и четверть данного времени шарик проходит третью и четвертую часть длины трубки. После чего, воспользовавшись формулой $v = s/t$, измерьте величину скорости движения в каждом случае. Убедитесь, что движение шарика (пузырька воздуха) равномерное.
 Сделайте вывод о зависимости пути от времени при равномерном прямолинейном движении.
2. С помощью игрушечной машинки, а также рулетки и секундомера определите среднюю скорость этой игрушки.

§ 11

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ

1. Различные механические движения можно представить в виде графиков. Для этого следует знать уравнения различных движений в зависимости от времени. В 7 классе рассматриваются лишь уравнение равномерного прямолинейного движения и его графическое представление.

Итак, сперва определим **уравнение прямолинейного равномерного движения**.

Пусть в начальный момент времени ($t_0 = 0$) координата тела на оси O_x равна x_0 , а в любой момент времени t его координата – x . Тогда модуль перемещения ($x - x_0$) равен пройденному пути: $s = x - x_0$. С другой стороны при равномерном движении пройденный путь определяется формулой: $s = v \cdot t$. Сравнивая эти два выражения, получим $x - x_0 = vt$. Отсюда:

$$x = x_0 + vt.$$

Эта формула называется **уравнением движения** тела, движущегося равномерно и прямолинейно.

2. Используя это уравнение, можно найти координату (x) равномерно движущейся материальной точки в любой момент времени. Зависимость координаты движущегося тела от времени, которая выражается общей формулой $x = x_0 + vt$, можно представить в виде таблицы или графика. Покажем графически несколько частных случаев этой зависимости.

Предположим, что тело, находящееся в начале координат ($x_0 = 0$), движется равномерно со скоростью $v = 3$ м/с. Тогда для этого случая уравнение движения имеет вид: $x = 3t$.

Отмечая положение тела через равные промежутки времени: $t_1 = 1$ с; $t_2 = 2$ с; $t_3 = 3$ с и т. д., получим таблицу значений координат в разные промежутки времени:

$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5
$x, \text{ м}$	0	3	6	9	12	15

С помощью таблицы мы можем определить положение тела в любой момент времени, т. е. его координату и время. Используя сведения, приведенные в таблице, можно построить график движения тела. Для этого на оси абсцисс отложим время от начала отсчета, а на оси ординат – значения координаты тела в соответствующем масштабе. Тогда получим прямую, являющуюся графиком движения, описываемого уравнением $x = 3t$ (рис. 2.11). В этой формуле координата x прямо пропорциональна времени t . Это озна-

чает, что координата равномерно движущегося тела находится в линейной зависимости от времени. Таким образом, можно утверждать, что *координата равномерно и прямолинейно движущегося тела является линейной функцией времени.*

Нельзя путать график зависимости координаты тела от времени с траекторией его движения.

3. Посмотрев на график зависимости координаты тела от времени, можно судить и о скорости его движения. Чем вертикальнее график, тем больше скорость движения тела.

Чтобы убедиться в этом, построим график движения равномерно движущейся материальной точки, скорость которой 20 м/с.

Пусть в начальный момент времени ($t_0 = 0$) точка находится на расстоянии 10 м от начала координат в положительном направлении оси x , т. е. начальная координата точки $x_0 = 10$ м. В этом случае уравнение движения имеет вид: $x = 10 + 20t$.

По уравнению движения $x = x_0 + vt$ вычислим координаты точки для времени: $t_0 = 0$ с, $t_1 = 2$ с, $t_2 = 4$ с. Полученные значения запишем в таблицу:

$t, \text{ с}$	0	2	4
$x, \text{ м}$	10	50	90

Используя данные таблицы, получим график движения материальной точки (рис. 2.12). И в этом случае график равномерного прямолинейного движения материальной точки представлен *отрезком прямой линии.*

Сравнивая графики прямолинейного движения тела, движущегося со скоростью $v_1 = 3$ м/с (рис. 2.11), а также тела, движущегося со скоростью $v_2 = 20$ м/с (рис. 2.12), убеждаемся в том, что *чем выше скорость тела, тем вертикальнее график его движения.*

4. Поскольку график равномерного прямолинейного движения тела является прямой линией, его можно построить и с помощью двух точек. Например, построим график движения тела, равномерно и прямолинейно движущегося со скоростью 2 м/с. Пусть его начальная координата при $t_0 = 0$ равна $x_0 = -3$ м. Соответственно уравнения этого движения имеет вид: $x = -3 + 2t$.

Тогда по уравнению движения при $t = 5$ с его координата составляет $x = 7$ м.

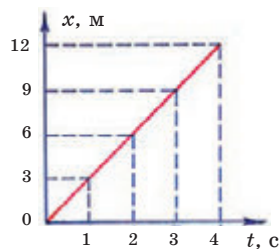


Рис. 2.11. График уравнения движения $x = 3t$

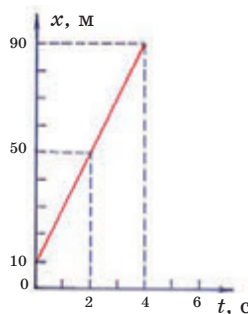


Рис. 2.12. График уравнения движения $x = 10 + 20t$

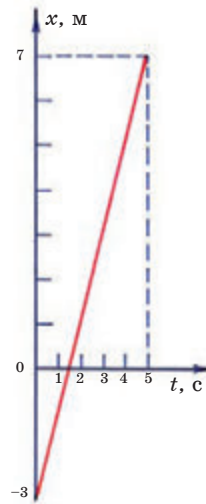


Рис. 2.13. График уравнения движения $x = -3 + 2t$

Запишем эти значения в таблицу:

$t, \text{ с}$	0	5
$x, \text{ м}$	-3	7

С помощью этих двух точек построим график движения, описываемого уравнением $x = -3 + 2t$ (рис. 2.13).

5. Теперь построим график движения тела, движущегося равномерно и прямолинейно со скоростью $v = -5$ м/с. Знак «минус» означает, что тело движется в отрицательном направлении по координатной оси. Пусть в начальный момент времени ($t = 0$) тело находилось на расстоянии 20 м от начала координат в положительном направлении по оси координат, т.е. начальная координата тела $x_0 = 20$ м. Тогда уравнение движения имеет вид: $x = 20 - 5t$.

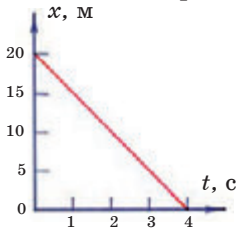


Рис. 2.14. График уравнения движения $x = 20 - 5t$

При $t_1 = 4$ с находим $x_1 = 0$ м.

Занесем эти значения в таблицу: $t_0 = 0$ с и $t_1 = 4$ с, а также значения соответствующих им координат: $x_0 = 20$ м и $x_1 = 0$ м.

$t, \text{ с}$	0	4
$x, \text{ м}$	20	0

Построим с помощью этих точек график движения, описываемого уравнением $x = 20 - 5t$. (рис. 2.14).

6. Мы, используя заранее заданные значения скоростей, составили таблицу и построили график прямолинейного равномерного движения. Во многих случаях приходится решать обратную задачу, т. е. определить скорость движения на основе представленного графика движения. Для этого значения x, x_0 и t в уравнении ($x = x_0 + vt$) определяются из графика, а скорость вычисляется по формуле:

$$v = \frac{x - x_0}{t}.$$



Вопросы

1. Каким уравнением описывается равномерное прямолинейное движение? Охарактеризуйте каждую величину в формуле.
2. Как определяется скорость прямолинейного равномерного движения тела с помощью графика зависимости $x = x(t)$?
3. Как будут выглядеть графики движения тел для следующих случаев:
а) $x_0 = 0$ и $v < 0$; б) $x_0 > 0$ и $v > 0$; в) $x_0 < 0$ и $v > 0$; г) $x_0 > 0$ и $v < 0$?



Упражнения 2.2

1. Постройте графики равномерного прямолинейного движения:
а) $v = 18$ км/ч и $x_0 = 0$; в) $v = -3$ м/с и $x_0 = 6$ м.
б) $v = 5$ м/с и $x_0 = 2$ м;
2. На рис. 2.15 изображен график движения поезда, движущегося прямолинейно и равномерно. Опишите движение поезда. Ответьте на следующие вопросы:
а) Сколько времени поезд двигался в положительном направлении по оси

координат? б) Сколько времени он стоял на остановке? в) Сколько времени он двигался в отрицательном направлении по оси координат? г) Каковы координаты поезда к моменту его остановки? Определите длину перемещения и путь, пройденный поездом за все время движения.

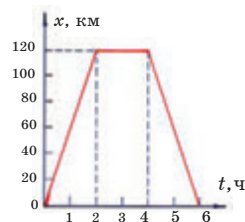


Рис. 2.15

3. На рис. 2.16 изображены графики равномерного прямолинейного движения двух тел (I и II). Скорость какого тела больше? Ответ обоснуйте.

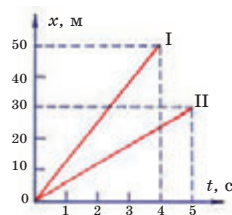


Рис. 2.16

4. Координаты равномерно движущейся материальной точки в момент времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 4$ с соответственно составляют $x_1 = 4$ м и $x_2 = -1$ м. Какова скорость материальной точки?

5. Теплоход совершает движение по течению реки со скоростью 600 км/сутки, а против течения – со скоростью 336 км/сутки. Какова скорость течения реки?

Самое важное в главе 2

- Механическое движение** – изменение положения тела или его частей относительно друг друга с течением времени.
- Материальная точка** – тело, размерами которого в условиях рассматриваемого движения можно пренебречь.
- Траектория движения** – след, оставленный телом или материальной точкой в виде линии при их движении относительно тела отсчета.
- Перемещение** – направленный отрезок, соединяющий начальное положение тела, находящегося в движении, с его конечным положением.
- Равномерное движение** – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковый путь.
- Неравномерное движение** – это движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит разный путь.
- Скорость тела** – отношение перемещения к промежутку времени, за которое произошло это перемещение:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{x}}{\Delta t}.$$

- Скорость равномерного движения** – отношение пройденного пути к промежутку времени, за которое пройден этот путь:

$$v = \frac{s}{t}.$$

- Уравнение прямолинейного равномерного движения тела:**

$$x = x_0 + vt.$$

- Средняя скорость равна отношению всего пройденного пути ко времени своего движения:**

$$v_{\text{cp}} = \frac{s_1 + s_2 + \dots + s_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}.$$



3

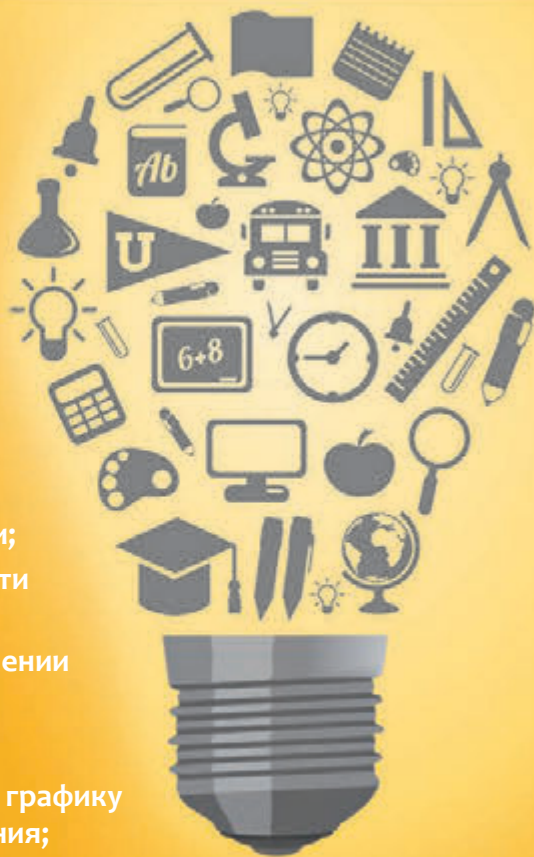
ГЛАВА



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

ПРОГРАММНЫЕ ЦЕЛИ:

- объяснять явление инерции и приводить примеры;
- приводить примеры действия сил из повседневной жизни;
- измерять массу тела с использованием электронных, пружинных и рычажных весов;
- объяснять физический смысл плотности;
- экспериментально определять плотности жидкостей и твердых тел;
- применять формулу плотности при решении задач;
- различать массу, вес и силу тяжести;
- определять коэффициент жесткости по графику зависимости силы упругости от удлинения;
- различать и приводить примеры пластических и упругих деформаций;
- рассчитывать силу упругости по формуле закона Гука;
- описывать трение при скольжении, качении, покое;
- приводить примеры полезного и вредного проявления силы трения;
- изображать силы графически в заданном масштабе;
- находить графически равнодействующую сил, действующих на тело и направленных вдоль одной прямой.



Настоящая глава учебника посвящена рассмотрению важнейших для понимания научного языка физики таких основных понятий и законов, как **инерция, взаимодействие, масса, плотность вещества, сила, деформация, упругая сила, закон Гука, сила тяжести, вес тела, сила трения скольжения.**

§ 12

ЯВЛЕНИЕ ИНЕРЦИИ

1. Из повседневного опыта мы знаем, что любое тело, движущееся в каком-либо направлении, старается сохранить в этом же направлении свою скорость движения. Чтобы его остановить, нужно воздействовать на него другим телом. Известно также, что предмет, находящийся в покое относительно какого-либо тела отсчета, сам не приходит в движение. Например, мяч, лежащий на земле, приходит в движение после того, как по нему ударят ногой; хоккейная шайба после удара по ней клюшкой начинает скользить по льду; качели приходят в движение после толчка руками.

Данные примеры позволяют сделать вывод о том, что *любое тело, если на него не действуют другие тела, или действие этих тел уравновешено, находится в покое или движется равномерно и прямолинейно.*

Чтобы убедиться в правильности данного утверждения, рассмотрим случай, когда тележка, движущаяся с скоростью v , скатилась с наклонной поверхности на горизонтальную (рис. 3.1). Пусть сначала она скатится на дорожку, посыпанную песком, затем – на дорожку, покрытую толстой резиной, и наконец – на гладкую стеклянную дорожку.



Рис. 3.1. Движение тележки на дорогах с различным покрытием



Рис. 3.2. Автомобиль на повороте

Наблюдая за движением тележки на первой дорожке, нетрудно заметить, как она, резко снизив скорость, вскоре останавливается. По второй поверхности тележка движется дольше, чем на первой. А по третьей дорожке она пройдет гораздо большее расстояние. Таким образом, чем меньше препятствий на пути тележки, тем дальше она продвигается, а движение все больше приближается к равномерному.

2. Как же будет двигаться тело, если убрать все эти препятствия с его пути? На этот вопрос на основе тщательно проведенных опытов знаменитый итальянский ученый **Галилео Галилей** ответил так:

Если на тело не действуют другие тела, то оно находится в покое или продолжает двигаться прямолинейно и равномерно относительно поверхности Земли.

В физике для характеристики свойств различных тел, которые по-разному проявляют свои состояния покоя или равномерного движения, вводятся такие понятия, как *инерция* и *инертность тела*.

Явление сохранения скорости тела при отсутствии воздействия других тел называется инерцией (лат. *инерция* – «неподвижность, бездеятельность»).

С проявлением инерции люди часто сталкиваются в повседневной жизни. Например, пассажир, находящийся в любом виде транспорта, при его внезапной остановке наклоняется вперед, а при резком увеличении скорости отклоняется назад. Быстро бегущий человек или автомобиль, движущийся на большой скорости (рис. 3.2), могут упасть или перевернуться на крутом повороте дороги. Во всех этих примерах тело стремится сохранить свою скорость в первоначальном направлении своего движения. Данные примеры демонстрируют проявление явления инерции.

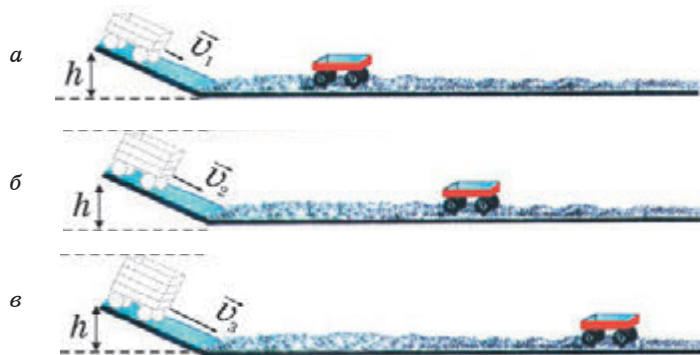


Рис. 3.3. Движение тележки с различными грузами на дорожках с одинаковым покрытием

3. Для осмысления *инертности тел* повторно проводим опыт с тележкой, увеличивая ее груз в два, три и более раз на каждом новом ее спуске (рис. 3.3). Пусть тележка с разными грузами во всех трех случаях движется по одной и той же дорожке, посыпанной песком. Опыт показывает, что тележка с двумя (рис. 3.3, б), а затем тремя грузами (рис. 3.3, в) проходит путь в два и три раза длиннее, чем тележка с одним грузом (рис. 3.3, а). Соответственно увеличивается и ее скорость ($v_1 < v_2 < v_3$). В таких случаях говорят, что тележка с тремя грузами является *более инертным телом*, чем тележка с двумя такими же грузами. А тележка с лишь одним грузом является *менее инертным телом* по сравнению с тележкой с двумя грузами. Таким образом, приходим к выводу, что *инертность тела прямо пропорциональна количеству вещества в нем*.

Понятия *инерции* и *инертности тела* тесно связаны с такими понятиями, как *масса* и *плотность* тела. В этом убедимся при изучении последующих тем.



Вопросы

1. Как будет двигаться тело, если оно не взаимодействует с другими телами?
2. Что называется инерцией?
3. Приведите примеры движения тел по инерции в окружающей нас среде, в микромире, в космосе.
4. Почему при резком подъеме или спуске лифта мы ощущаем учащение сердцебиения и головокружение?
5. Почему в момент приземления после прыжка человек сгибает колени?
6. Какое физическое явление используется при насаживании молотка на рукоятку (рис. 3.4)?
7. Какие тела относительно других называются инертными?
8. Почему опасно перебежать дорогу перед близко идущим транспортом?



Рис. 3.4. Насаживание молотка



§ 13

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ. МАССА И ИЗМЕРЕНИЕ МАССЫ ТЕЛ

1. Взаимодействие тел. Повседневный жизненный опыт показывает, что *действие тел друг на друга бывает двусторонним*. Примером этого может служить столкновение двух тел, а также взаимодействие тел, связанных между собой пружиной или ниткой.

Взаимодействие – это действие тел друг на друга. Рассмотрим простейшие примеры взаимодействия, наблюдаемые нами в повседневной жизни. Позже, обобщив полученные знания, мы рассмотрим и более сложные его виды.

Предположим, что один из мальчиков на катке толчком руки заставил двигаться другого. Одновременно он и сам откатится назад. При этом низкорослый мальчик станет двигаться быстрее ($\vec{v}_1 > \vec{v}_2$), чем мальчик высокого роста (рис. 3.5).

Работая веслами, человек взаимодействует с водой (рис. 3.6). В результате более легкая лодка движется вперед, а массивная вода практически остается на месте.

Взаимодействие тел может происходить по-разному. Обычно одно тело участвует сразу в нескольких взаимодействиях. Например, когда человек толкает шкаф, он взаимодействует и с полом, и со шкафом.

Приведенные примеры говорят о том, что действие тел друг на друга является двусторонним. Поэтому *действие тел друг на друга называется взаимодействием*.



Рис. 3.5. Мальчики на катке – пример двустороннего взаимодействия



Рис. 3.6. Взаимодействие гребца и воды

2. Масса тела. Приведенные выше примеры показывают, что разные тела в процессе взаимодействия приобретают разные скорости. Если одно тело при взаимодействии с другим незначительно изменяет скорость, то говорят, что оно *более инертно*. Например, мальчик крупного телосложения на рис. 3.5 является более инертным по отношению ко второму мальчику. Вода в бассейне более инертна, чем лодка (рис. 3.6).

Свойство тела оказывать сопротивление изменению его сложившегося состояния (т. е. состояния покоя или прямолинейного движения) называется инертностью.

Для количественного сравнения инертности различных тел используют физическую величину, которая называется *массой*.

Понятие массы – одно из сложнейших. Ее глубокий научный смысл раскрылся в ходе исторического развития физики. Так, например, Ньютон в свое время принял за *массу количество вещества в теле*. Такое суждение раскрывает лишь одну грань массы. Позже проявилась вторая грань массы в виде инертного свойства тела. *Физическая величина, характеризующая инертное свойство тела, называется массой.*

Таким образом, *масса является мерой инертности тела*. Масса является скалярной величиной, ее обозначают буквой *m*.

3. Массы тел можно сравнить по изменению их скоростей при взаимодействии. Чтобы убедиться в том, что масса является мерой инертности тела, определим связь между массами двух тел и их скоростями, которые они приобретают после взаимодействия. Для этого на горизонтальном столе устанавливаем две одинаковые легкоподвижные тележки, между которыми находится стальная пластинка, связанная нитью (рис. 3.7, а). Чтобы осуществить взаимодействие, нужно пережечь нить. Тогда пластинка распрямится, и тележки, отталкиваясь друг от друга, придут в движение.

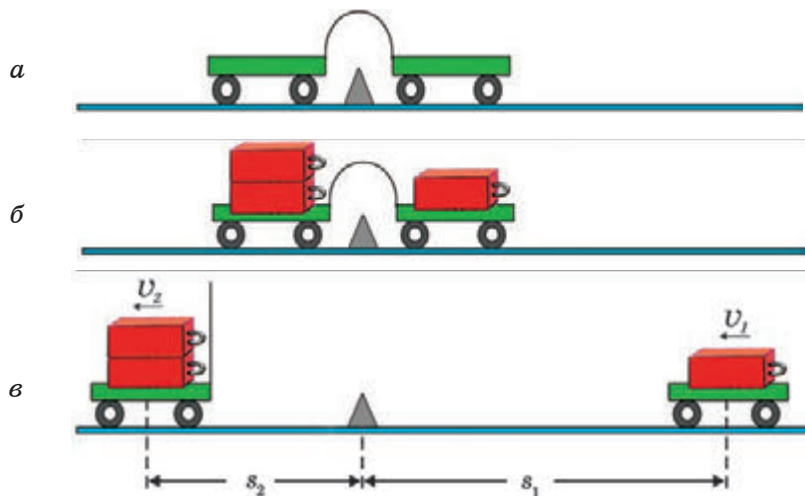


Рис. 3.7. Движение разных по массе тележек

Положим на правую тележку один брусок, а на левую – два бруска, сделанные из одного и того же материала с одинаковым объемом (рис. 3.7, б). Если тележки привести во взаимодействие, то можно заметить, что они за одно и то же время t пробегают разные расстояния (рис. 3.7, в). При этом измерения покажут, что $s_1 = 2s_2$. Если учтем, что $v_1 = \frac{s_1}{t}$ и $v_2 = \frac{s_2}{t}$, то получим: $v_1 = 2v_2$. Значит, правая тележка приобретает скорость в 2 раза большую, чем левая. Так как бруски с одинаковыми объемами сделаны из одного и того же материала, мы приходим к выводу, что левый брусок в 2 раза инертнее правого. То есть масса левого бруска в 2 раза больше массы правого.

Отсюда следует, что масса, действительно, является мерой инертности тела.

Из вышеописанных опытов вытекает следующий вывод: *отношение масс двух тел обратно пропорционально отношению модулей скоростей, которые они приобретут при взаимодействии:*

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}.$$

4. Измерение массы тела. Чтобы измерить массу любого тела, его надо сравнить с телом, масса которого принята за единицу.

В Международной системе за единицу массы принят **килограмм (кг)**. Это масса эталонной гири цилиндрической формы, отлитой из сплава платины и иридия. Международный эталон килограмма (рис. 3.8) хранится в музее эталонов во Франции в г. Севре, близ Парижа. Во многих странах имеются точные копии этого эталона массы. Для пользования в повседневной жизни изготавливают набор гирь разной массы, называемый *разновесом* (рис. 3.9, а).

На практике массу тела удобнее находить не по его взаимодействию с другим телом, а с помощью взвешивания на весах (рис. 3.9). Принцип взвешивания на рычажных весах заключается в уравновешивании. Используя разные гири, добиваются равновесия весов. В состоянии равновесия весов масса тела равна массе гирь. Для измерения массы используют и более мелкие единицы массы – тысячную и миллионную долю килограмма – **грамм (г)** и **миллиграмм (мг)**, а для взвешивания тела с большой массой – более крупные единицы – **центнер (ц)** и **тонну (т)**.

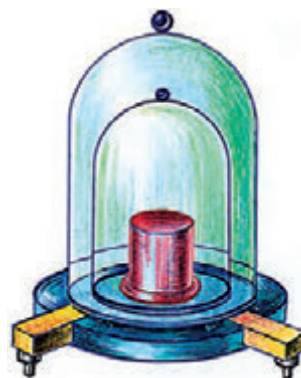
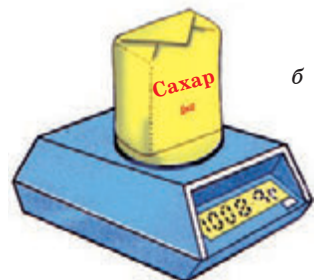


Рис. 3.8. Международный эталон килограмма



а



б

Рис. 3.9. Рычажные весы с набором гирь (а) и электронные весы (б)

$$1 \text{ ц} = 100 \text{ кг} = 10^2 \text{ кг};$$

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 10^3 \text{ кг};$$

$$1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг} = 10^{-3} \text{ кг};$$

$$1 \text{ мг} = 0,000 \text{ 001 кг} = 10^{-6} \text{ кг}.$$

Существуют весы различных конструкций, начиная от весов, чувствующих легкое дуновение ветерка, до весов, предназначенных для взвешивания железнодорожных вагонов. Среди них есть знакомые вам школьные рычажные весы (рис. 3.9, а), а также электронные весы продуктовых магазинов (рис. 3.9, б). Принцип работы различных рычажных весов описан в § 37 настоящего учебника.



Вопросы

1. Что означает *взаимодействие тел* и к какому результату оно приводит? Ответ обоснуйте примерами.
2. Что можно сказать о скоростях двух взаимодействующих тел?
3. Какую скорость приобретает вода при взаимодействии с движущейся лодкой? Обоснуйте ответы.
4. Что называется инертностью тела?
5. Как можно сравнить массы двух тел?
6. Что принято за единицу массы? Что называется инертностью?
7. Назовите способы определения массы тела.



Упражнения 3.1

1. Рассмотрите рис. 3.10 и 3.11 и опишите проявления взаимодействия.
2. Выразите в килограммах приведенные ниже значения массы: крыло мухи – 0,00005 г, теннисный мяч – 2,5 г, футбольный мяч – 400 г, автомобиль – 1,45 т.
3. Тело уравновешено набором гирь массой 100 г; 50 г; 1 г. Какова масса тела?
4. Положив на ладонь какое-либо тело, оцените его массу, затем, взвесив его на весах, проверьте, насколько вы ошиблись.
5. Два мальчика на роликовых коньках, оттолкнувшись друг от друга, поехали в разные стороны со скоростью 3 м/с и 4 м/с соответственно. Масса одного мальчика 40 кг. Чему равна масса другого?



Рис. 3.10



Рис. 3.11



Практические задания

1. Возьмите стакан и картон. Поставьте стакан на картон. Сначала медленно вытяните картон, затем быстро его выдерните. Что произошло?
2. Определите с помощью школьных весов массу следующих тел: а) кусочек мела; б) горошина; в) ручка; г) любое другое тело на выбор.
3. Определите массу воды, молока или подсолнечного масла в заполненном доверху стакане. Объем мерного стакана 200 см³.



Теоретическое исследование

1. Вы сидите на стуле. Назовите тела, взаимодействующие при этом.
2. Теоретически опишите (объясните) то, что произошло при выполнении первого практического задания.

§ 14

ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА И ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОТНОСТИ. РАСЧЕТ ПЛОТНОСТИ

1. Все тела окружающей среды имеют определенную форму, объем, площадь, массу и т. д. В случае необходимости такие характеристики тел мы можем определить с помощью измерений и вычислений. Как было сказано в предыдущем параграфе, массу тела можно определить взвешиванием на весах. Она зависит от размеров тела и вещества, из которого оно изготовлено. Масса тел одинакового объема, изготовленных из различных веществ, будет разной. Например, железо объемом 1 м^3 имеет массу 7800 кг , а свинец такого же объема – 13 тыс. кг . Значит, несмотря на одинаковый объем, разные вещества имеют разную массу. Следовательно, большое значение имеет знание массы тела, приходящейся на его единичный объем.

Отсюда вытекает необходимость введения физического понятия, называемого **плотностью**, которая характеризует свойство вещества.

Масса вещества, содержащаяся в единице его объема, называется плотностью.

Таким образом, **чтобы найти плотность вещества, надо массу тела разделить на его объем**. Если обозначим плотность вещества буквой ρ (греческая буква «ро»), массу тела – m , объем тела – V , то плотность вещества определяется формулой

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

2. В Международной системе за единицу плотности принят **килограмм на кубический метр** (кг/м^3). Это плотность однородного вещества, масса которого 1 кг при объеме 1 м^3 . На практике используются и другие значения единицы плотности (**грамм на кубический сантиметр** или **тонна на кубический метр**):

$$1 \text{ г/см}^3 = 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad 1 \text{ т/м}^3 = 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

В Приложении (см. табл. 6, 7, 8) дана плотность некоторых веществ в твердом, жидком и газообразном состояниях.

3. Знание плотности вещества дает нам огромную информацию об его агрегатном состоянии, о массе и других важных свойствах. Например, при

переходе жидкого вещества в газообразное состояние его плотность уменьшается примерно в 1000 раз. В самом деле расстояние между молекулами газов очень велико, тогда как молекулы жидкостей и веществ в твердом состоянии плотно упакованы. Поэтому плотность газов очень мала по сравнению с плотностями жидкостей и твердых тел. Все это позволяет глубже понять физический смысл плотности.

Если известны плотность вещества и объем тела, то можно определить его массу, не производя взвешивания:

$$m = \rho V .$$

4. Приведем примеры для расчета плотности.

Пример 1. Масса кирпича (с размерами $a = 250$ мм, $b = 120$ мм, $c = 65$ мм), изготовленного из однородной глины, равна 3,6 кг. Какова плотность кирпича в кг/м³?

Плотность кирпича определяем по формуле $\rho = \frac{m}{V}$, где: $m = 3,6$ кг – масса кирпича, $V = a \cdot b \cdot c$ – объем кирпича, имеющего форму параллелепипеда. Определим объем кирпича в кубическом метре:

$$V = a \cdot b \cdot c = 0,25 \text{ м} \cdot 0,12 \text{ м} \cdot 0,065 \text{ м} \approx 0,002 \text{ м}^3 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 .$$

$$\text{Плотность кирпича: } \rho = \frac{m}{V} = \frac{3,6 \text{ кг}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3} = 1,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} .$$



Рис. 3.12

Зачастую тело состоит из разных материалов (рис. 3.12). В таких случаях определяют среднюю плотность ($\rho_{\text{ср}}$) материала, из которого состоит тело. Подобный расчет плотности проводится следующим образом.

Пример 2. Общая масса корабля составляет $2 \cdot 10^4$ т, а его объем – $4 \cdot 10^4$ м³. Корабль загружен железом и углем одинакового объема. Масса угля равна 150 т. Каковы плотность корабля и масса железа?

Сначала определим плотность корабля:

$$\rho_{\text{ср}} = \frac{m_k}{V_k} = \frac{2 \cdot 10^4 \text{ т}}{4 \cdot 10^4 \text{ м}^3} = \frac{2 \cdot 10^7 \text{ кг}}{4 \cdot 10^4 \text{ м}^3} = 500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} .$$

Найденная величина составляет среднюю плотность корабля, так как он состоит из стали. В нем имеется много деталей из других материалов (дерева, стекла, пластмассы, сплавов цветных металлов и т. д.). Большую часть корабля занимает воздух. Средняя плотность материалов, из которых сделан корабль ($\rho_{\text{ср}} \approx 500$ кг/м³), меньше плотности воды ($\rho_{\text{в}} = 1000$ кг/м³). Поэтому он не тонет в воде.

Теперь определим объем угля и железа в корабле. По условию задачи, объем угля равен объему железа: $V_{\text{у}} = V_{\text{ж}} = V$. Из формулы плотности определим объем угля V :

$$V = \frac{m_{\text{у}}}{\rho_{\text{у}}} ,$$

где m_y – масса угля, ρ_y – плотность угля ($\rho_y = 1500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

Объем угля равен:

$$V = \frac{m_y}{\rho_y} = \frac{150 \text{ т}}{1500 \text{ кг/м}^3} = \frac{150000 \text{ кг} \cdot \text{м}^3}{1500 \text{ кг}} = 100 \text{ м}^3.$$

Найденный объем угля равен также и объему железа. Следовательно, массу железа определим по формуле:

$m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V$, где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность железа = 7900 кг/м³.

Масса железа равна: $m_{\text{ж}} = \rho_{\text{ж}} \cdot V = 7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 100 \text{ м}^3 = 790\,000 \text{ кг} = 790 \text{ т}$.



Вопросы

1. Что называют плотностью вещества? В чем заключается физический смысл массы?
2. Как можно рассчитать плотность вещества?
3. Какие единицы плотности вы знаете?
4. Как вычислить массу однородного тела, зная его объем и плотность вещества, из которого оно сделано?
5. Как вычислить объем однородного тела, зная его массу и плотность вещества?
6. В каких случаях определяют среднюю плотность тела?



Упражнения 3.2

1. Какова плотность металла, масса которого 3 кг, а объем 200 см³?
2. Чтобы определить объем емкости неправильной формы, ее сначала взвешивают, затем заполняют водой и снова взвешивают. Масса пустой емкости 10 кг, масса емкости с водой 20 кг. Плотность воды $1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Определите объем емкости.
3. Некая деталь на $1/3$ сделана из свинца, на $2/3$ – из олова. Какова средняя плотность материала, из которого сделана деталь?
4. Найдите массу золотого бруска длиной 8 см, шириной 4 см, толщиной 2 см. При вычислениях принять, что золото плотнее воды в 19,3 раза.
5. Размеры комнаты: длина 4 м, ширина 2,5 м, высота 2 м. Определите массу воздуха, занимающего весь объем комнаты, если его плотность равна $1,3 \text{ кг/м}^3$.
6. Аквариум, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда с основанием $0,4 \times 0,2$ (м), заполнен водой до высоты 0,15 м. Определите объем воды в аквариуме. Какова масса этой воды? Плотность воды 1000 кг/м^3 .



Экспериментальное исследование

С помощью мензурки определите объем молока и чистой воды, а с помощью весов измерьте их массы. На основе измеренных данных определите их плотность. Сравните полученные данные с табличными значениями плотностей.



Теоретическое исследование

1. Длина выпускаемого в Казахстане грузового вагона 13 м; ширина 3,2 м; высота 3,5 м; предельная грузоподъемность 60 т, собственный вес 15 т. Рассчитайте, какой предельный объем железа, угля и дерева можно везти этим вагоном. Для каждого случая определите среднюю плотность груженого вагона.
2. Существует несколько способов определения плотности яблока, купленного в магазине. Подумайте и представьте их для обсуждения в группе в письменном виде.

Лабораторная работа № 3

Определение плотности твердых тел и жидкостей

Цель работы: развитие навыков определения массы тела с помощью весов.

Задание 1. Измерение массы тела на рычажных весах.

Приборы и материалы: рычажные весы; мелкие гири; брусок, имеющий форму параллелепипеда; мелкие тела с разной массой.

Одним из способов определения массы тела является взвешивание. При измерениях с помощью рычажных весов на одну чашку (левую) кладут тело с неизвестной массой, а на вторую (правую) – гири, уравновешивающие весы. Масса тела равна массе гирь, уравновешивающих весы.

Ход работы.

1. Подготовьте весы для взвешивания. Проверьте, уравновешены ли они.
2. Во избежание порчи весов взвешиваемое тело и гири опускайте на чашки весов осторожно.
3. Уравновесив весы, подсчитайте общую массу гирь, находящихся в чашке.
4. Запишите результаты измерений в таблицу.

Номер опыта	Взвешиваемое тело	Масса тела, г	Масса тела, кг
1.			
2.			
3.			

Задание 2. Определение плотности тела.

Приборы и материалы: тела, плотность которых надо определить; мензурка; линейка; нитки.

Ход работы.

1. Возьмите тела, массы которых определены в предыдущем задании. Чтобы определить объем параллелепипеда по формуле $V = a \cdot b \cdot c$, измерьте его стороны линейкой, затем вычислите его объем.

2. Объем других тел неправильной формы определите с помощью мензурки. Можно воспользоваться телами, объем которых определен во время выполнения лабораторной работы № 1.

3. По формуле вычислите плотность тела, выразите ее в граммах на кубический сантиметр (г/см^3) и в килограммах на кубический метр (кг/м^3).

4. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Номер опыта	Измеряемое тело	Масса тела, г	Масса тела, кг
1.			
2.			
3.			

Задание 2. Определение плотности жидкостей.

Приборы и материалы: рычажные весы, мелкие гири, мензурка с делениями, исследуемые жидкости (раствор соли, глицерин, керосин и т. п.).

Ход работы.

1. Определите на весах массу пустой мензурки m .
2. В мензурке налейте исследуемую жидкость, определите объем V и измерьте массу мензурки с жидкостью с помощью весов. Определите их общую массу m_2 .
3. По формуле $m_3 = m_2 - m$ определите массы исследуемых жидкостей.
4. Используя формулу, определите плотности жидкостей.
5. Результаты измерений и вычислений внесите в таблицу.

Номер опыта	Жидкость, плотность которой надо определить	Масса жидкости, г	Объем жидкости, см ³	Плотность $\rho = \frac{m}{V}$	
				г/см ³	кг/м ³
1.					
2.					
3.					

Сделайте выводы.

§ 15

СИЛА

1. В повседневной жизни с помощью понятия «сила» мы характеризуем воздействие одного тела на другое. Например, можно сказать о действии руки на мяч, воды на пловца, магнита на железо, ветра на парус. В науке понятию *сила*, ставшему одним из основных понятий физики, придан точный смысл.

Рассматривая явление инерции, мы убедились в том, что тело, не взаимодействующее с другими телами, движется прямолинейно и равномерно относительно тела отсчета. Взаимодействие тела с другими телами приводит

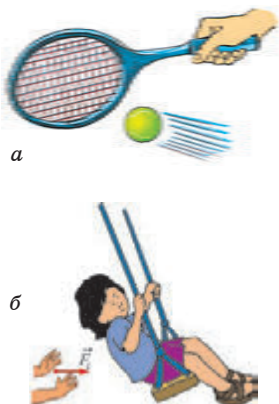


Рис. 3.13

сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного движения».

Силу обозначают буквой \vec{F} со стрелочкой, а ее модуль – той же буквой F , но без стрелочки.

2. Чтобы одинаково изменить скорость движения разных тел на одинаковую величину, необходимо приложить к ним различные силы. Например, чтобы сдвинуть с места автомобиль (рис. 3.14, а) или пустую и нагруженную тележки (рис. 3.14, б) и сообщить им одинаковую скорость, надо приложить к ним различную силу. Следовательно, числовое значение силы может быть большим и меньшим. Действие силы зависит не только от ее численного значения (модуля), но и от ее направления.



Рис. 3.14



Рис. 3.15

к изменению его скорости как по величине, так и по направлению. Например, с помощью ракетки можно изменить направление движения летящего теннисного мяча (рис. 3.13, а). Девочка, сидящая на качелях, под действием приложенной извне силы вовлекается в движение в направлении качания (рис. 3.13, б). Приведенные примеры свидетельствуют о том, что тело под действием другого тела приходит в движение, останавливается или изменяет свою скорость. В таком случае говорят, что **скорость тела меняется под действием силы**.

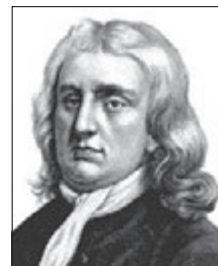
Следовательно, *сила является причиной изменения скорости тела или его частей*. Великий английский ученый-физик Исаак Ньютон дал следующее научное определение понятия силы: «**Приложенная**

Таким образом, сила является **векторной величиной**, так как, кроме численного значения, она характеризуется и направлением своего действия.

Большое значение также имеет то, на какую *точку* тела приложена действующая на него сила. Вам хорошо известно, что открыть дверь, толкая ее близко от петель, гораздо труднее, чем тогда, когда мы пользуемся ручкой.

На рисунке силу изображают в виде направленного отрезка с указанием точки ее приложения. Направление стрелки совпадает с направлением действия силы (рис. 3.15). Начало отрезка является *точкой приложения силы*. Длина отрезка условно изображает в некотором масштабе величину силы.

3. В Международной системе за единицу силы принят **ньютон (Н)**. Это название единица силы получила в честь великого ученого **Исаака Ньютона**. **1 Н** определяется как сила, изменяющая за 1 с скорость тела массой 1 кг на 1 м/с в направлении действия силы. Используются как кратные единицы измерения силы **килоньютон (кН)**, **меганьютон (МН)** и т. д., так и дольные – **миллиньютон (мН)**, **микроньютон (мкН)** и т. д.



Исаак Ньютон
(1643–1727)



Из истории развития науки и техники

Исаак Ньютон на склоне лет рассказал о том, как он открыл закон всемирного тяготения.

Когда молодой Ньютон гулял в яблоневом саду в поместье своих родителей, он увидел Луну в дневном свете и размышлял о ее движении. Вдруг рядом на землю упало яблоко, сорвавшееся с ветки, и озадачило его.

В то время он работал над законами движения и уже знал, что яблоко упало под воздействием гравитационного притяжения Земли. Знал также, что Луна вращается вокруг Земли и на нее воздействует какая-то сила... В этот день ему впервые пришла идея о том, что одна и та же сила заставляет яблоко упасть на землю, а Луну оставаться на околоземной орбите. Впоследствии на основе этого предположения (гипотезы) был открыт закон всемирного тяготения.



Вопросы

1. В чем проявляется действие одного тела на другое?
2. Как в физике понимают смысл слова «сила»? Как сформировал Ньютон понятие силы?
3. Как влияет сила на характер движения тела?
4. Чем характеризуется сила и как она графически изображается?
5. Что принято за единицу силы в Международной системе?
6. Какая сила соответствует одному ньютону (1 Н)?

§ 16

ЯВЛЕНИЕ ТЯГОТЕНИЯ. СИЛА ТЯЖЕСТИ

1. Явление тяготения. С детства нам хорошо знакомо притяжение тел к Земле. Например, и подброшенный ногой мяч, и сорвавшееся с ветки яблоко падают на землю. Следовательно, на тела действует сила, притягивающая их к Земле. Земля притягивает к себе любые тела. В свою очередь Земля также притягивается ко всем телам. Взаимное притяжение



Рис. 3.16. Сила притяжения Солнца держит на своих орбитах планеты и астероиды

свойственно всем телам Вселенной. Например, планеты Солнечной системы притягиваются к Солнцу, в то же время они сами притягивают к себе Солнце и друг друга (рис. 3.16).

Взаимное притяжение всех тел Вселенной называется *гравитационным взаимодействием* (лат. *gravitas* – «тяжесть»). Среда, обладающая исключительным свойством и обеспечивающая взаимное притяжение любых тел независимо от их размера и положения в пространстве, называется *гравитационным полем*. А сила притяжения называется *гравитационной силой*.

2. Закон всемирного тяготения. Силы тяготения, или гравитационные силы, действующие между двумя телами, определяются законом всемирного тяготения, сформулированным великим английским ученым Исааком Ньютоном. (С историей открытия этого закона и его значением вы подробно ознакомитесь в старших классах.)

Согласно закону всемирного тяготения, силы притяжения между телами тем больше, чем больше массы этих тел. Чем меньше масса тела, тем слабее его сила тяготения, поэтому для тел с небольшой массой она просто незаметна. Силы притяжения между телами уменьшаются, если увеличивается расстояние между ними.

Взаимное притяжение тел раскрывает еще одну грань массы: **масса является не только мерой инерции тел, но и мерой их гравитационного взаимодействия.**

Сила тяготения очень велика между телами астрономических масштабов, ведь они в миллионы и миллиарды раз больше, чем мы сами и то, что нас окружает. Так, например, масса Земли $5976 \cdot 10^{21}$ кг, масса Луны $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, а расстояние от Земли до Луны 384 400 км. Сила тяготения

между Землей и Луной составляет $2 \cdot 10^{20}$ Н. Масса Земли в 81,6 раза больше массы Луны. Поэтому Луна не может освободиться от силы притяжения Земли и вращается вокруг нее, делая один оборот за 29,5 суток. Но и Луна притягивает Землю с силой $2 \cdot 10^{20}$ Н. Именно эта сила вызывает приливы и отливы вод океанов на Земле. Два раза за сутки огромная масса воды поднимается на несколько метров на поверхности Земли, обращенной к Луне, а на противоположной стороне, наоборот, на столько же снижается.

3. Сила тяжести. Одно из проявлений силы всемирного тяготения – *сила, с которой тело притягивается к Земле*. Ее называют *силой тяжести* и обозначают буквой $\vec{F}_{\text{тяж}}$. Она всегда направлена вниз (рис. 3.17). Многочисленными опытами установлено, что сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела. В этом можно убедиться, проведя следующий опыт. Если к крючку динамометра по очереди подвешивать тела массами m_1 , m_2 , m_3 и каждый раз отмечать его показания $\vec{F}_{\text{тяж}_1}$, $\vec{F}_{\text{тяж}_2}$, $\vec{F}_{\text{тяж}_3}$, то можно убедиться в том, что соответствующие отношения: $\vec{F}_{\text{тяж}_1}/m_1$, $\vec{F}_{\text{тяж}_2}/m_2$, $\vec{F}_{\text{тяж}_3}/m_3$ всегда остаются постоянными:

$$\frac{F_{\text{тяж}_1}}{m_1} = \frac{F_{\text{тяж}_2}}{m_2} = \frac{F_{\text{тяж}_3}}{m_3} = \text{const.}$$

Таким образом, для всех тел отношение силы тяжести $F_{\text{тяж}}$ к массе тела остается постоянной величиной. Обозначим эту величину буквой g , тогда:

$$\frac{F_{\text{тяж}}}{m} = g.$$

Переписываем эту формулу в следующем виде:

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

Отсюда видно, что *сила тяжести, действующая на тело, прямо пропорциональна массе тела*.

Значение постоянной g примерно равно 9,8 Н/кг. Ее называют *ускорением свободного падения*. Величина $g = 9,8$ Н/кг показывает, что любого тела массой 1 кг Земля притягивает с силой 9,8 Н. (Более подробно понятие *ускорения* будет рассматриваться в старших классах.) Точные измерения показывают, что значение постоянной g зависит от географической широты местности. Например, если на Северном полюсе $g = 9,832$ Н/кг, то на экваторе $g = 9,780$ Н/кг, на географической широте 45° $g = 9,806$ Н/кг. Такое колебание g (т. е. ускорение свободного падения тел) означает, что Земля не имеет строго шарообразную форму. И в самом деле, Земля имеет форму сплюснутого шара, несколько сжатого к экватору. Кроме того, установлено, что значение g уменьшается в зависимости от высоты тела над поверхностью Земли. На уровне моря $g = 9,8066$ Н/кг, на пике Хан Танири (6995 м) $g = 9,78$ Н/кг.

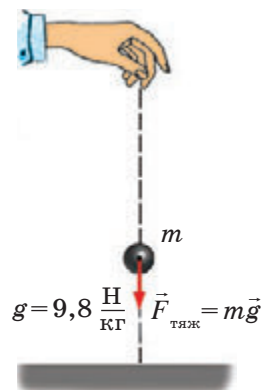


Рис. 3.17.
Сила тяжести направлена в центр Земли



Рис. 3.18. Одну и ту же массу небесные тела притягивают с различной силой

В условиях Земли для практических расчетов, не обращая внимания на незначительные изменения этой величины, можно воспользоваться его средним значением, равным $9,8 \text{ Н/кг}$.

Пропорциональность действующей на тело силы тяжести на его массу позволяет измерять массу тел динамометром, проградуированным в единицах массы. Для этого динамометр, находящийся на Земле или на других небесных телах (например, на Луне, Марсе и т. д.), должен быть проградуирован на основе эталонной массы. На разных небесных телах при взвешивании тела с массой 1 кг растяжение динамометра будет разным.

4. Сила тяжести на других планетах. Сила тяжести, действующая на тела одинаковой массы, на разных небесных телах разная. Чем меньше масса небесного тела, тем меньше и сила притяжения. Например, Земля притягивает к себе тело массой 1 кг с силой $9,81 \text{ Н}$, Луна – с силой $1,62 \text{ Н}$, Марс – с силой $3,73 \text{ Н}$ (рис. 3.18), т. е. сила тяжести на Луне примерно в 6 раз, а на Марсе в 2,6 раза слабее, чем на Земле.

Поэтому на разных небесных телах различным оказывается значение отношения $\frac{F_a}{m} = g$ (т.е. значение ускорения свободного падения g). Например, на Земле $g = 9,8 \text{ Н/кг}$, на Меркурии $g_{\text{Мерк}} = 3,7 \text{ Н/кг}$; на Венере $g_{\text{В}} = 8,8 \text{ Н/кг}$, на Марсе $g_{\text{Марс}} = 3,73 \text{ Н/кг}$, Юпитере $g_{\text{Ю}} = 24 \text{ Н/кг}$, на Сатурне $g_{\text{Сат}} = 10,44 \text{ Н/кг}$. На Уране притяжение такое же, как на Земле: $g_{\text{У}} = 9,8 \text{ Н/кг}$, на Нептуне $g_{\text{Н}} = 13,5 \text{ Н/кг}$. На Луне $g_{\text{Л}} = 1,6 \text{ Н/кг}$, т. е. притяжение на Луне в 6 раз слабее, чем на Земле.



Вопросы

1. Что означают такие понятия, как *гравитационное взаимодействие*, *гравитационное поле* и *гравитационная сила*?
2. Кто открыл силу взаимопритяжения тел и какие физические величины играют в ней важную роль?
3. Какую силу называют силой тяжести?



4. Каково соотношение между силой тяжести, действующей на тело, и его массой?
5. Какая связь существует между силой тяжести и массой тела?
6. На поверхности какой планеты Солнечной системы величина силы тяжести, действующей на тело, максимальна?
7. Почему притяжение тел на Луне меньше, чем на Земле?



Упражнения 3.3

1. Сила тяжести, которая действует на некое тело, равна 10 кН. Какова масса тела?
2. В средних широтах сила тяжести, действующая на тело, равна 196,12 Н. Какова масса тела? Какова величина силы тяжести на полюсе?
3. Масса груза 10 кг. Какая сила тяжести действует на него?
4. Приведите примеры наблюдаемых на Земле явлений, которые объясняются силой притяжения.
5. Определите силу тяжести, которая может действовать на вас на Земле и на других планетах Солнечной системы. Будем считать, что вы знаете свою массу.
6. Предположим, что вы, побывав на какой-либо планете, измерили массу и силу тяжести, действующую на тело. Результаты измерения: $m = 150$ г, $F = 0,57$ Н. На какой планете вы побывали?
7. Найдите силу тяжести, действующую на тело массой 2 кг на Луне.



Практические задания

1. С помощью динамометра определите силу притяжения какого-либо тел, находящихся в кабинете физики. Следует помнить, что предел измерения школьного динамометра 4 Н.
2. Возьмите шарик и подвесьте его на нити. Поднимите шарик за нить и подождите, пока его колебания прекратятся. Затем отпустите его. Наблюдайте за падением шарика. Ответьте на вопросы:
 - а) Почему шарик натягивает нить?
 - б) В каком направлении падает шарик?



Теоретическое исследование

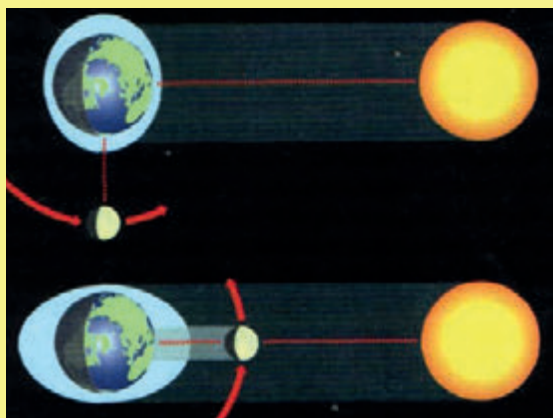


Рис. 3.19. Различные состояния взаимного расположения Луны, Земли и Солнца

На рисунке показаны два состояния взаимного расположения трех небесных тел (Солнца, Земли и Луны). Показано на нем изменение уровня Мирового океана, окружающего земную поверхность. Внимательно изучив рис. 3.19, в письменном виде объясните, какие явления имеют место, из-за чего уровень Мирового океана меняется. Опишите также, как будет вести себя околоземный воздушный океан для двух разных случаев расположения небесных тел. Объяснение сопроводите рисунками. Дайте ответ, почему воздух вокруг Земли не рассеивается в космическом «пустом» пространстве.

1. Пусть тело находится на горизонтальной неподвижной опоре (рис. 3.20, а). Следовательно, тело и опора вступают во взаимодействие.

Как было показано в § 13, действие тел друг на друга носит двусторонний характер. В процессе взаимодействия тело с некоторой силой действует на опору, упруго изгибая ее вниз. Эту силу, действующую со стороны тела на опору, обычно называют весом тела и обозначают знаком \vec{P} . В свою очередь и опора действует на тело упругой силой $\vec{F}_{\text{упр.}}$, противоположно направленной силе \vec{P} .

Аналогичная картина наблюдается, если тело подвешено (рис. 3.20, б). В этом случае подвес (например, нить, веревка, проволока, пружина и т. д.) растягивается под действием силы веса тела (\vec{P}). Таким образом, и в подвесе, как в упруго изгибающейся опоре, возникает упругая сила $\vec{F}_{\text{упр.}}$, которая действует на тело.

С другой стороны, во всех этих случаях на тело постоянно действует также сила тяжести ($\vec{F}_{\text{тяж.}} = mg$), обусловленная притяжением Земли. Отметим следующие особенности вышеуказанных сил:

- сила тяжести ($\vec{F}_{\text{тяж.}}$) приложена к телу и всегда действует на него (рис. 3.20, а, б, в);
- сила веса тела (\vec{P}) приложена к опоре (рис. 3.20, а) или подвесу (рис. 3.20, б), а сила упругости ($\vec{F}_{\text{упр.}}$) приложена к телу (рис. 3.20, а, б);
- если опора или подвес неподвижны относительно Земли, то модули силы тяжести и веса равны ($F_{\text{тяж.}} = P$); в других условиях это равенство может нарушиться ($F_{\text{тяж.}} \neq P$).

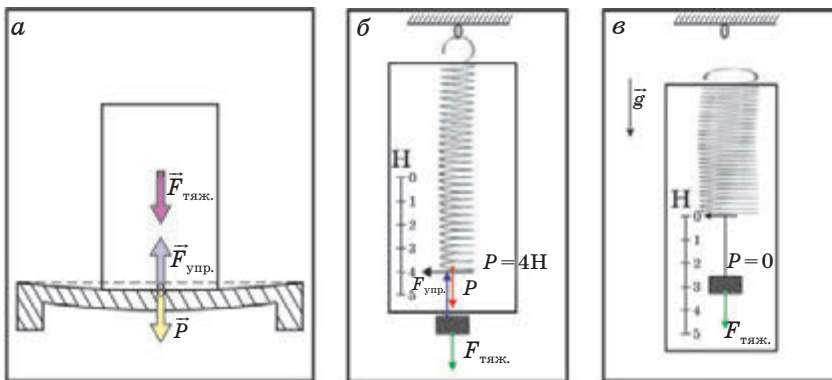


Рис. 3.20

Итак, сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на неподвижную относительно тела горизонтальную опору или подвес, называется весом тела.

Сила тяжести ($\vec{F}_{\text{тяж.}}$) – это сила притяжения тела Землей. Сила тяжести приложена к телу.

Вес тела (\vec{P}) – это сила, действующая со стороны тела на опору или подвес. Вес тела приложен к подвесу или опоре.

Сила тяжести постоянно действует на тело. Вес тела не всегда действует на опору или подвес. В зависимости от условий вес может принимать различные значения. Например, $\vec{P} = 0$; $\vec{P} = \vec{F}_{\text{тяж.}}$; $\vec{P} > \vec{F}_{\text{тяж.}}$; $\vec{P} < \vec{F}_{\text{тяж.}}$. Следовательно, сила тяжести и вес тела, совершенно разные силы. Как и другие силы, вес является векторной величиной и измеряется в ньютонах (Н).

2. Особое значение имеет свободное падение тела вместе с опорой или подвесом (рис. 3.20, в). В этом случае подвес или опора не препятствуют движению тела ($\vec{F}_{\text{упр}} = 0$); в свою очередь, тело не оказывает действие на подвес или опору ($\vec{P} = 0$). Особое состояние тела, в котором исчезает его вес, называют невесомостью. Состояние невесомости каждый из вас может испытать, хотя и непродолжительно, при прыжке в воду с трамплина, на различных аттракционах.

После выключения двигателей космический корабль, находящийся на орбите, движется под действием силы притяжения Земли. Вращаясь вокруг Земли, он как бы непрерывно свободно падает на Землю. В таком случае и космонавты, и тела, находящиеся в корабле, переходят в состояние невесомости. Космонавты свободно «плавают» внутри корабля (рис. 3.21).



Рис. 3.21. Невесомость

3. Если тело вместе с опорой движется в направлении действия силы тяжести или в противоположном направлении неравномерно, то соотношение между силой тяжести и весом изменится ($\vec{P} \neq \vec{F}_{\text{тяж}}$). В этом случае вес тела может быть больше или меньше силы тяжести. Так, например, при торможении или наборе высоты космического корабля вес космонавтов увеличивается ($\vec{P} > \vec{F}_{\text{тяж}}$), и они испытывают *перегрузку*. В такие моменты космонавты испытывают многократное увеличение собственного веса, огромное действие которого придавливает их к креслу. Испытаниями установлено, что если вес увеличивается десятикратно, космонавт теряет сознание. Перегрузки испытывают на какое-то время и пассажиры скоростных лифтов, летчики при выходе из пикирования и т. д.



Юрий Гагарин
(1934–1968)



Тохтар Аубакиров



Талгат Мусабаев



Айдын Айымбетов

4. Космонавты, находясь в тяжелейших условиях под действием как перегрузки, так и невесомости, не только мастерски управляют космическим кораблем, но и проводят сложные научные работы и эксперименты.

Первый в мире русский космонавт Юрий Гагарин, полетевший в космос со священной казахской земли Байконур (1961), открыл ворота неизведанной Вселенной. Пример мужества, необычайной находчивости и мастерства в управлении сложнейшей космической техникой показали наши соотечественники – космонавты Тохтар Аубакиров, Талгат Мусабаев, Айдын Айымбетов. Эти космонавты – высококвалифицированные летчики-испытатели многих типов современных самолетов; высококлассные профессионалы, в совершенстве владеющие основами современной физики и техники. Так, например, Тохтар Аубакиров еще до полета в космос был удостоен звания Героя Советского Союза за смелость и находчивость, позволившие ему посадить свой сверхзвуковой самолет на палубу авианосца в сложных погодных условиях.

И Гагарин, и Аубакиров, и Мусабаев, и Айымбетов, а также другие астронавты как всесторонне развитые личности и как виртуозы космической техники останутся вечно в памяти человеческого рода.



Из истории развития науки и техники

Основоположных теории русской космонавтики К. Э. Циолковский в своей работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» приводит следующее теоретическое суждение о перегрузке и невесомости тел во время космического полета.

«... Допустим, что все готово: изобретено, осуществлено, испытано, и мы уже устроились в ракете и приготовились к подъему...

Подан знак; началось взрывание, сопровождаемое оглушительным шумом. Ракета дрогнула и двинулась в путь. Мы чувствуем, что страшно отяжелели... Тяжесть в ракете, по-видимому, увеличилась в 10 раз. Об этом нам бы возвестили пружинные весы или динамометр...

...Испытываемая нами адская тяжесть будет продолжаться... пока не окончится взрывание и его шум. Затем, когда наступит мертвая тишина, тяжесть так же моментально исчезает, как и появилась... Все неприкрепленные к ракете предметы сошли со своих мест и висят в воздухе, ни к чему не прикасаясь, а если они касаются, то не производят давления друг на друга или на опору».

Примечательно, что данная теоретическая работа Циолковского, вышедшая задолго до первого полета человека в космос, блестяще подтверждает эвристическую предсказательную роль научной теории, о которой говорилось в первой главе учебника. Действительно, все космонавты во время полета в космос на практике испытали все то, что гипотетически предсказал Циолковский.



Вопросы

1. Какие силы действуют, когда тело лежит на неподвижной относительно Земли опоре или подвешено на нити? Что называется весом тела?
2. В чем разница между весом тела и силой тяжести, действующей на него?
3. В каком случае тело пребывает в состоянии невесомости? Оказывает ли она вредное воздействие? Проанализируйте.
4. В каком случае тело испытывает перегрузку? Оказывает ли она вредное воздействие?
5. Действует ли на тело, находящееся в состоянии невесомости, сила притяжения Земли?
6. Какие дополнительные сведения вы можете привести о первом космонавте человечества, а также о казахских космонавтах?



Упражнения 3.4

1. Определите вес тела массой 1 кг на экваторе и полюсе.
2. Мальчик весом 500 Н держит тело весом 50 Н. С какой силой он давит на Землю?
3. Определите вес мальчика на Луне, если его масса 40 кг. На Луне $g = 1,6$ Н/кг.
4. На тело массой 1 кг на Луне действует сила тяжести 1,6 Н. Определите вес человека массой 50 кг на Луне.



Практические задания

1. С помощью рулетки определите размеры своей комнаты: длину, ширину, высоту, выразите их в метрах. Вычислите объем комнаты: $V = a \cdot b \cdot c$. Зная плотность воздуха, вычислите массу $m = \rho \cdot V$ и вес воздуха в комнате: $P = mg$. Сделайте вывод.
2. Изучив дополнительные источники информации об отечественных космонавтах, о Циолковском и других конструкторах ракет, подготовьте доклады. Обсудите доклады на заседаниях физического кружка, наиболее интересные из них представьте для публикации на стенной газете.

§ 18

ДЕФОРМАЦИЯ. СИЛА УПРУГОСТИ

1. В процессе взаимодействия тел приходят в движение отдельные их части, вследствие чего изменяются форма и размеры тела. Например, пружина, действуя на тело, растягивается, тонкая палочка прогибается, мышцы рук напрягаются.

Изменение формы и размеров тела называют деформацией (лат. *деформацио* – изменение формы, искажение).

Так как деформация происходит во время взаимодействия тел, изменяются оба взаимодействующие тела. Например, рассмотрим действие рук на пружины (рис. 3.20, а) При растягивании или сжатии пружины мышцы рук деформируются (напрягаются). Деформируется также пружина, т. е. изменяет свою форму.

Точно так же искривляется и деформируется позвоночник человека (особенно подрастающих детей). Это объясняется тем, что скелет еще не прошел процесс своего полного формирования, но в этот период подвергается большим нагрузкам. Все это приводит к развитию сколиоза – патологического процесса, характеризующегося искривлением позвоночника в боковую сторону. В современном обществе данная проблема очень распространена, так как дети проводят много времени не только сидя за партой на учебе, но и дома, за компьютером, планшетом, смартфоном. В основном проявляется у детей возрастом от десяти до пятнадцати лет. Сколиоз несет необратимые и опасные последствия для организма ребенка или подростка.

2. Существует два вида деформации: *пластическая* и *упругая*.

Если после прекращения действия силы тело меняет свою первоначальную форму и размеры, то такую деформацию называют пластической. После пластической деформации тела сохраняют свою вновь приобретенную форму и размеры. Например, из пластилина или глины можно, не прилагая

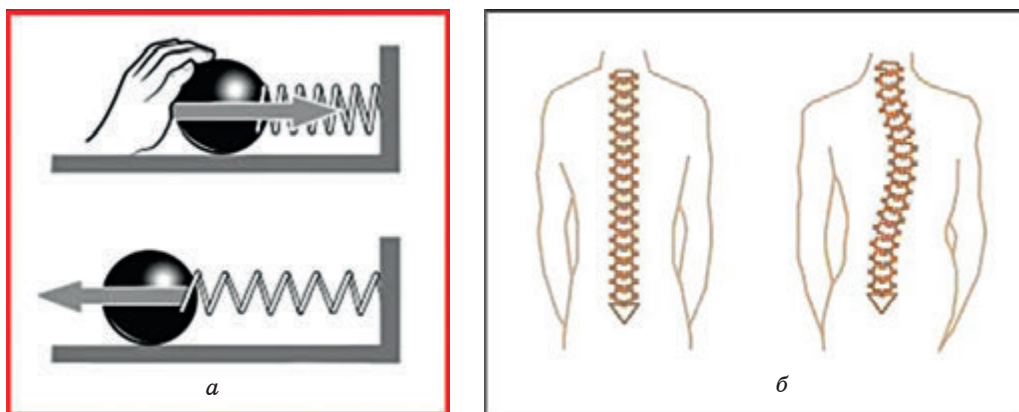


Рис. 3.22. Деформация тел

большой силы, вылепить предмет любой желаемой формы. После прекращения действия рук пластилин или глина сохраняют вновь приобретенную форму.

Если после прекращения действия силы тело полностью восстанавливает свою форму и размеры, то такую деформацию называют **упругой**.

Например, при ударе ногой по мячу он изменяет свою форму, т. е. деформируется (рис. 3.23, а). Но после удара мяч восстанавливает свою форму. Так же и воздушный шар приобретает почти первоначальную форму после того, как из него будет выпущен воздух (рис. 3.23, б).

3. Деформация опоры (подвеса) и тела приводит к появлению силы упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ (рис. 3.23, в).

Сила, возникающая при деформации тел, называется силой упругости.

Сила упругости направляется в сторону прежних форм и размеров тел под прямым углом к деформированной поверхности.

Итак, сила упругости возникает, если тело *сжимают, растягивают, изгибают и скручивают*. Рассмотрим растяжение упругой пружины (3.23, в). Под



Рис. 3.23. Виды деформации и сила упругости

действием приложенной силы $\vec{F}_{\text{тяж}}$ пружина деформируется. Возникает сила, противодействующая деформации, – сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$. Обратите внимание, что сила упругости приложена к телу, вызывающему деформацию (к грузу).

Сила упругости возникает только при деформации тела. При исчезновении деформации тела исчезает и сила упругости.

Многочисленные объекты (жилые дома, предметы), находящие широкое применение в нашей повседневной жизни, специально делают из твердых и прочных материалов. Деформацию таких материалов (растяжение или сжатие) невозможно обнаружить невооруженным глазом, так как они деформируются незначительно. Поэтому при строительстве различных сооружений используемые материалы, как правило, подвергаются предварительным испытаниям на прочность посредством различных видов деформации (растяжение, сжатие, скручивание и т. д.).

В случае, когда деформация опоры незаметна, изменением ее размеров можно пренебречь (рис. 3.23, а). Силу упругости ($\vec{F}_{\text{упр}}$) называют также *силой реакции опоры*.



Вопросы

1. Что называется деформацией?
2. Как возникает деформация тела?
3. Какую деформацию называют пластической?
4. Какая деформация называется упругой?
5. Какую силу называют силой упругости? Как она направлена?
6. В каких случаях силу упругости называют силой реакции опоры?

§ 19

ЗАКОН ГУКА

1. Связь между силой упругости и упругой деформацией тела (при малых деформациях) была исследована английским физиком **Робертом Гуком** (1635–1703). Она известна как **закон Гука**. Согласно этому закону, **модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела прямо пропорционален изменению длины тела, т. е.:**

$$F_{\text{упр}} = k \cdot |\Delta x|,$$

где $F_{\text{упр}}$ – модуль силы упругости; $\Delta x = x - x_0$ – величина удлинения или сжатия тела (расстояние, на которое изменяется длина тела); x_0 – первоначальная длина тела; x – длина деформированного тела; k – коэффициент

пропорциональности, называемый *жесткостью*. В СИ жесткость выражается в *ньютон на метр (Н/м)*.

Жесткость для данного конкретного тела, как это вытекает из закона Гука, является постоянной величиной:

$$k = \frac{F_{\text{упр}}}{\Delta x} = \text{const.}$$

2. В справедливости закона Гука можно убедиться, осуществив несложный опыт (рис. 3.24). Подвесим пружину на штатив. В качестве пружины можно использовать динамометр, с помощью которого измеряем силу упругости $F_{\text{упр}}$. Пусть первоначальная длина нерастянутой пружины составляет x_0 . В качестве груза возьмем три одинаковых тела с массой m . Сперва подвесим одно из них на пружину. Пружина растянется, принимая новую длину x_1 . При этом изменение пружины равно $\Delta x_1 = x_1 - x_0$. В деформированной пружине, как показывает динамометр, соответственно возникает упругая сила F_1 , противодействующая деформации пружины.

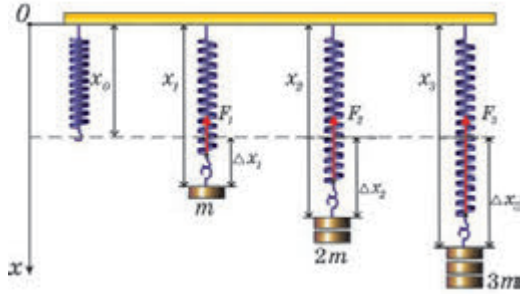


Рис. 3.24. Упругая деформация

Аналогичный опыт проводим, подвесив теперь на пружину два груза с массой $2m$, а затем три груза с массой $3m$. Измерение показывает, что в каждом случае длина пружины увеличивается соответственно на величину: $\Delta x_2 = 2 \cdot \Delta x_1$ и $\Delta x_3 = 3 \cdot \Delta x_1$. Соответственно увеличиваются, как это показывает динамометр, и силы упругости пружины: $F_2 = 2F_1$ и $F_3 = 3F_1$.

Теперь определим следующие отношения для всех трех случаев проведенного опыта:

$$\frac{F_1}{\Delta x_1}; \quad \frac{F_2}{\Delta x_2} \quad \text{и} \quad \frac{F_3}{\Delta x_3}.$$

Проставив найденные опытные данные в эти отношения, убеждаемся, что они равны, т. е. представляют одну и ту же постоянную величину:

$$\frac{F_{\text{упр}1}}{\Delta x_1} = \frac{F_{\text{упр}2}}{\Delta x_2} = \frac{F_{\text{упр}3}}{\Delta x_3} = k = \text{const.}$$

Отсюда видно, что жесткость k для данной пружины является постоянной величиной. Такой же вывод вытекает и из закона Гука. На основе вышеописанного опыта можно определить жесткость заданного конкретного материала.

3. Опыты показывают, что жесткость k зависит от материала, из которого изготовлено тело, от его размеров и формы.

Например, возьмем тонкую проволоку и прорезиненный жгут одинаковой длины и диаметра и подвесим на них одинаковые грузы. Сильнее растянется

прорезиненный жгут – его жесткость меньше, чем жесткость проволоки. И каждый из вас, вероятно, знает, на сколько больше надо приложить усилий, чтобы сжать или растянуть пружину из проволоки большого сечения по сравнению с тонкой.

Различные материалы обладают различной упругостью, поэтому закон Гука применим не ко всем материалам. Этот закон выполняется только для тел с упругими свойствами и при малых деформациях. При больших деформациях закон Гука не выполняется, а при достаточно больших деформациях тела вообще теряют свойство упругости.



Вопросы

1. Как формулируется закон Гука?
2. При какой деформации выполняется закон Гука?
3. Что называется жесткостью пружины? Какой формулой она определяется?
4. Какой единицей выражается жесткость в Международной системе единиц?
5. Как опытным путем можно определить жесткость пружины или прорезиненного жгута?
6. Одинакова ли жесткость материалов, изготовленных из одного и того же вещества в разных формах? Обоснуйте ответ.



Упражнения 3.5

1. Жесткость прорезиненного жгута $7,2 \cdot 10^4$ Н/м. На какую длину растянется жгут, если на него действует сила 10 кН?
2. Стальная пружина под действием силы 245 Н удлинилась на 35 мм. Определите жесткость пружины.
3. Жесткость пружины $5 \cdot 10^3$ Н/м. Предельная длина, на которую ее можно растянуть, 16 мм. Сохранится ли упругость пружины, если к ней приложить силу 50 Н, 100 Н?
4. Тонкая спиральная пружина, для которой справедлив закон Гука, подвешенная вертикально на закрепленной опоре, растягивается под действием силы 160 Н на 72 мм. На пружину подействовали дополнительно силой 120 Н. Определите удлинение спирали.

Лабораторная работа № 4

Изучение упругих деформаций

Цель работы: определять коэффициент жесткости по графику зависимости силы упругости от удлинения упругого тела.

Задание 1. Градуирование школьного динамометра, упругим элементом которого является пружина.

Приборы и материалы: динамометр; полоска миллиметровой бумаги; набор грузов массой по 102 г; штатив с муфтами, лапкой и кольцом.

Ход работы.

1. Шкалу динамометра закройте бумагой. Бумагу с двух концов закрепите на динамометре скотчем.

2. Подвешивая к динамометру грузы, масса которых составляет 102 г, 204 г, 306 г и т. д., отметьте черточкой положения указателя динамометра, соответствующие силам 1 Н, 2 Н, 3 Н и т. д.

3. Измерьте расстояние между соседними черточками. Равны ли они между собой? Отметьте на этой шкале десятые доли *ньютон*.

4. Сравните сделанную вами шкалу со шкалой динамометра, проградуированной на заводе.

5. Оцените погрешность измерения.

Задание 2. Определение графической связи между удлинением упругого тела и силой тяжести, действующей на него, а также коэффициента жесткости тела.

Приборы и материалы: штатив с муфтой, лапкой и кольцом; две резиновые нитки, каждая длиной 15–20 см; полоска картона длиной 35–40 см; крючок из проволоки; линейка; динамометр; полоска миллиметровой бумаги.

Ход работы.

1. На одном конце резиновой нитки (рис. 3.25) завяжите петельку, другой конец закрепите вместе с картоном в лапке штатива. Обратите внимание на то, чтобы петельки были на одном уровне. Отметьте на картоне этот уровень.

2. С помощью крючка подвешивайте на одну нитку поочередно грузы массой $m_1 = 10$ г, $m_2 = 20$ г, $m_3 = 30$ г.

3. Измерьте удлинение нитки при разных массах.

4. Повторите опыт с теми же грузами, подвешивая их с помощью крючка одновременно на две нити. Занесите результаты измерений в таблицу.



Рис. 3.25

Номер опыта	Число резиновых ниток	Масса груза, г	Сила тяжести $F = mg$, Н	Удлинение нитки, мм	Коэффициент жесткости
1	одна	$m_1 =$	$F_1 =$	$\Delta x_1 =$	$k_1 =$
2	одна	$m_2 =$	$F_2 =$	$\Delta x_2 =$	
3	одна	$m_3 =$	$F_3 =$	$\Delta x_3 =$	
1	две	$m_1 =$	$F_1 =$	$\Delta x_1 =$	$k_2 =$
2	две	$m_2 =$	$F_2 =$	$\Delta x_2 =$	
3	две	$m_3 =$	$F_3 =$	$\Delta x_3 =$	

5. Определите графическую связь между упругой силой, модуль которой равен модулю силы тяжести, и удлинением (для одной и двух нитей). Выбрав любую произвольную точку на графике, определите на координатных осях соответствующие силы упругости и удлинения, а затем вычислите коэффициент жесткости по формуле $k = \frac{F}{\Delta x}$.

§ 20

СИЛА ТРЕНИЯ. УЧЕТ ТРЕНИЯ В ТЕХНИКЕ

1. Сила трения. Вы знаете, что сани скользят по ледяной или снежной поверхности гораздо легче, чем по грунтовой дороге. Кататься на велосипеде, у которого не смазаны трущиеся друг о друга детали, передвигать по полу мебель очень трудно (рис. 3.26, а, б). Опыты показывают, что, когда одно тело движется по поверхности второго тела, возникает сила, направленная противоположно скорости и препятствующая движению. Действительно, после выключения двигателя машина, двигавшаяся по дороге, останавливается.

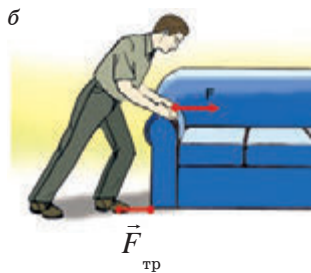
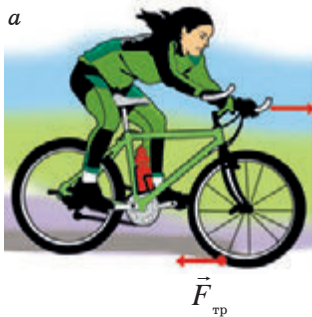


Рис. 3.26. Сила трения

Мальчик, катающийся на коньках, сани, мчащиеся вниз с горки, катящийся мяч через некоторое время тоже останавливаются.

Сила, возникающая при движении или попытке вызвать движение одного тела по поверхности другого тела, называется силой трения.

2. По характеру движения соприкасающихся тел различают *трение скольжения, трение качения* и *трение покоя*. Когда одно тело скользит по поверхности другого (например, скольжение лыж), говорят о *трении скольжения* (рис. 3.27, а), когда колесо катится, возникает *трение качения* (рис. 3.27, б). Если тела сохраняют относительно друг друга состояние покоя (например, камень лежит на склоне горы), говорят о *трении покоя*, так как именно сила трения ($\vec{F}_{тр.}$) удерживает его от сползания вниз (рис. 3.27, в).



Рис. 3.27.

Одна из причин возникновения силы трения заключается в *шероховатости соприкасающихся тел*. Из-за этого часто возникают трудности при скольжении, перекачивании тел (возможном перемещении). Чтобы уменьшить трение, трущиеся поверхности шлифуют. Однако, если соприкасающиеся поверхности тел идеально отполированы, то между близко расположенными молекулами начинает проявляться сила молекулярного взаимодействия. *Взаимное притяжение молекул соприкасающихся тел является основной причиной трения.*

3. Одним из способов уменьшения трения является *использование смазки*. Слой масла разъединяет поверхности соприкасающихся тел, соответственно трение уменьшается.

Трение можно регулировать подбором соответствующих материалов. Например, сцепление резины с поверхностью почвы, асфальтом, деревом сильнее, чем сцепление дерева с деревом или металла с поверхностью металла. Поэтому для увеличения трения некоторые детали машин делают из резины или материалов на основе резины.

Прижимая трущиеся поверхности с большей или меньшей силой, можно также влиять на трение.

Таким образом, *трение зависит от материала соприкасающихся поверхностей, от качества обработки поверхностей и от силы давления одной поверхности на другую.*

4. Все то, что сказано выше, описывает трение с качественной стороны. Вместе с тем трение (точнее силу трения) можно охарактеризовать и с количественной стороны. Например, для того чтобы определить трение скольжения, деревянный брусок, привязанный к динамометру, перемещают равномерно по горизонтальной плоскости (рис. 3.28). При равномерном движении модули силы тяги и силы трения равны. Следовательно сила тяги, которую показывает динамометр, является числовым значением силы трения.

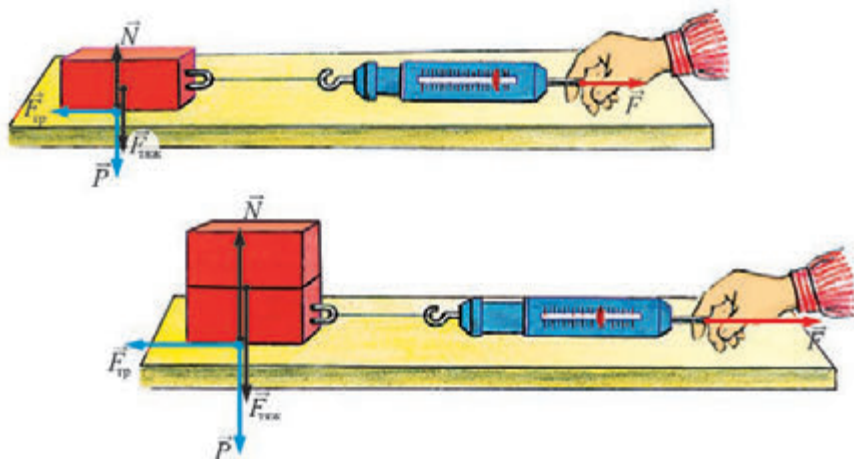


Рис. 3.28. Определение силы трения динамометром

Изменяя массу деревянного бруска с помощью различных грузов, можно изменять силу, с которой он прижимается к доске. При этом сила трения также будет меняться.

Сила, с которой данное тело перпендикулярно прижимает поверхность другого тела, называется силой нормального давления.

Сила нормального давления по модулю равна силе реакции опоры. Модуль силы нормального давления, как и силу реакции опоры, обозначают буквой \vec{N} .

При движении тела по горизонтальной поверхности модули силы нормального давления и силы реакции опоры численно равны силе тяжести: $N = mg$.

Многочисленные опыты показывают, что **сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления:**

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где $F_{\text{тр}}$ – модуль *силы трения скольжения*, а μ (греч. буква «мю») – величина, называемая *коэффициентом трения*. Коэффициент трения зависит от состояния соприкасающихся поверхностей.

В табл. 4 Приложения даны значения коэффициента трения скольжения для различных материалов. Однако следует помнить, что коэффициент трения зависит не только от природы материалов, но и от качества их обработки и других факторов.

5. Трение может быть и вредным, и полезным. Поэтому в технике придают очень большое значение и уменьшению, и увеличению трения. Например, в гололед посыпают дороги и тротуары песком. Для увеличения сцепления между шинами колес и дорожным полотном дороги покрывают асфальтом, бетоном, гравийной щебенкой. Увеличение сцепления шин с такими дорожными покрытиями подтверждают приведенные ниже значения коэффициентов трения: с сухим асфальтом – 0,6; мокрым асфальтом – 0,4; с сухим бетоном – 0,95; мокрым бетоном – 0,85; с грунтом – 0,3–0,5, с дорогой, посыпанной песком, – 0,5–0,7. При управлении транспортом при гололеде (коэффициент трения 0,15) водителю нужно проявить особое мастерство.

Трение между соприкасающимися деталями механизмов и машин приводит их к разрушению. Поэтому для уменьшения трения в технике в основном используются *смазывающие масла*, а также применяются *подшипники* и *воздушная подушка*. Существуют разные способы уменьшения трения.

1) При введении между трущимися поверхностями смазки трение сильно уменьшается, так как при наличии смазки соприкасаются не сами поверхности тел, а слои жидкости. Так, например, именно благодаря смазке (воде), возникающей в результате таяния льда под коньком, скольжение на коньках по льду сопровождается очень слабым трением.

2) Для использования шариковых и роликовых подшипников (рис. 3.29) внутреннее кольцо подшипника насаживают на вал машины (механизма). Наружное кольцо подшипника закрепляют в корпусе машины. Когда вклю-

чают машину, то вал начинает катиться на шариках или роликах, находящихся между кольцами подшипника. Использование подшипников позволяет уменьшить трение в 20–30 раз.

В настоящее время изготавливают подшипники с диаметром от 1 мм до 1,5 м. Ими снабжаются разнообразные механизмы. Масса некоторых подшипников, предназначенных для больших машин, превышает 1 т.

3) При применении воздушной подушки уменьшение трения происходит за счет того, что между машиной и трущейся опорой создается область воздуха с повышенным давлением. Воздушные подушки применяются в конструкциях судов и других видов транспорта.

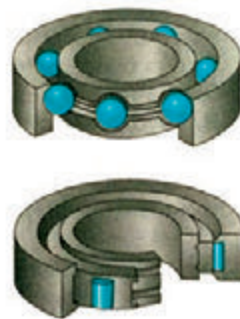


Рис. 3.29.
Подшипники



Вопросы

1. Какую силу называют силой трения?
2. Какова причина возникновения трения?
3. Какие виды трения вы знаете?
4. Отличаются ли силы трения покоящихся тел, если одно из них находится на горизонтальной, а другое – на наклонной плоскостях?
5. За счет трения вещи изнашиваются. Приведите примеры из своей повседневной жизни.
6. Как можно измерить силу трения?
7. Назовите примеры положительного действия силы трения.
8. Почему опасно вождение автомашины по обледеневшей дороге? Какие меры предосторожности в таких случаях должен проявлять пешеход?
9. Какие способы увеличения или уменьшения силы трения вы знаете?



Упражнения 3.6

1. Почему тяжелую ношу легче транспортировать по скользкой снежной колее?
2. По обледеневшей дороге лошадь везет сани с грузом общей массой 1 т. Коэффициент трения полозьев о лед – 0,05. Какую силу тяги развивает лошадь?
3. Какую силу нужно затратить, чтобы сдвинуть с места шкаф массой 70 кг? Коэффициент трения $\mu = 0,3$.
4. Тело массой 50 кг под действием силы в 200 Н равномерно движется по ровной дороге. Чему равен коэффициент трения?
5. Масса машины вместе с грузом 7 т, ее двигатель развивает силу тяги 35 кН. Найдите коэффициент трения между ведущими колесами машины и дорогой (считать, что машина движется равномерно).



Лабораторная работа № 5

Исследование силы трения скольжения

Цель работы: определение модуля силы трения скольжения древесины по древесине, а также древесины по шлифовальной бумаге.

Приборы и материалы: динамометр, набор грузов, трибометр (плоская доска), деревянный брусок, лист шлифовальной бумаги (шкурки).

Задание 1. Определение модуля силы трения скольжения древесины по древесине.

Ход работы.

1. Определите цену деления шкалы динамометра, а также инструментальную ошибку (h_a) прибора.

2. Положите деревянный брусок на расположенный горизонтально трибометр (плоскую доску). Измерьте модуль силы трения скольжения ($F_{тр}$) древесины по древесине с помощью динамометра, прикрепленного к бруску. Обратите внимание на то, чтобы при измерении силы трения скольжения динамометр находился в горизонтальном положении параллельно плоскости трибометра и перемещался вместе с бруском равномерно и прямолинейно.

3. На брусок поставьте один груз из набора, а затем два груза и повторите предыдущий опыт с одним грузом, а затем с двумя грузами.

Задание 2. Определение модуля силы трения скольжения древесины по шлифовальной бумаге.

Ход работы.

Повторите второй и третий опыты задания 1. Результаты измерения внесите в таблицу.

Номер опыта	Инструментальная ошибка (h_a)	Сила трения, Н (древесина по древесине)	Сила трения, Н (древесина по шлифовальной бумаге)
1.			
2.			

На основе результатов проведенных опытов ответьте на следующие вопросы:

1. Зависит ли сила трения скольжения от рода трущихся поверхностей?
От шероховатости трущихся поверхностей?
2. Какими способами можно увеличить или уменьшить силу трения скольжения?

Сделайте выводы.

§ 21

СЛОЖЕНИЕ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ
НА ТЕЛО ВДОЛЬ ПРЯМОЙ

1. Во многих случаях, с которыми мы встречаемся и в повседневной жизни, и в природе, на тело действуют не одна, а несколько сил. Под действием нескольких сил тело может изменить скорость своего движения или сохранить состояние покоя относительно тела отсчета. Опыты показывают, что точно такого же изменения скорости можно добиться действием только одной определенной силы. Отсюда можно сделать вывод: *если на тело действуют две или несколько сил, то эти силы можно заменить одной силой, действие которой равно действию этих сил.*

Сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил, называется равнодействующей этих сил.

2. Так как сила является векторной величиной, для определения равнодействующей двух сил, лежащих на одной прямой, применим правила сложения и вычитания векторов, приведенных в § 3. Сперва рассмотрим сложение сил, лежащих на одной прямой и имеющих одинаковое направление. Предположим, что два мальчика действуют в одном направлении. Чтобы сдвинуть контейнер с места, один из них приложил силу \vec{F}_1 , а второй – силу \vec{F}_2 (рис. 3.30, а).

Взрослый человек, прикладывая силу \vec{F}_p , сможет так же сдвинуть тот же контейнер (рис. 3.30, б). Направление действующих сил \vec{F}_1 , \vec{F}_2 и \vec{F}_p одинаково, т. е. сила \vec{F}_p является равнодействующей сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Сила \vec{F}_p получается при сложении сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 . Таким образом, *если две силы действуют на тело в одном направлении, то равнодействующая этих сил направлена в ту же сторону, а ее модуль равен сумме модулей этих сил:*

$$F_p = F_1 + F_2.$$

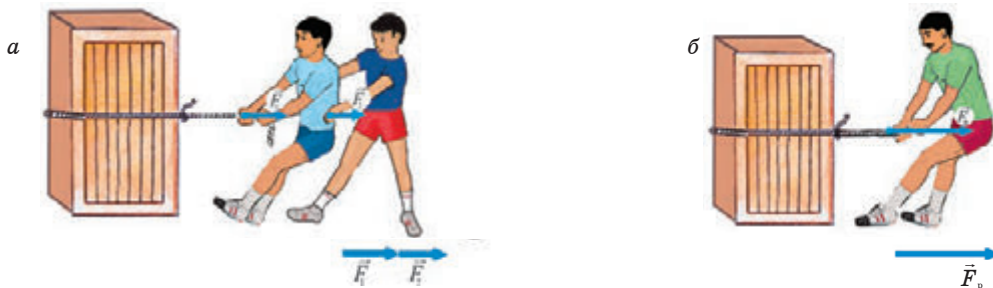


Рис. 3.30. Сложение сил, действующих в одном направлении

3. Теперь рассмотрим действие противоположно направленных вдоль прямой сил. Направление равнодействующей двух сил, направленных вдоль одной прямой, но в противоположных направлениях, показано на рис. 3.31. Из рисунка видно, что равнодействующая этих сил определяется по формуле $F_p = F_2 - F_1$.

Исходя из этого, приходим к следующему выводу: *если на тело действуют две силы, направленные в противоположные стороны, то равнодействующая сил направлена в сторону большей силы, а ее модуль равен разности модулей этих сил:*

$$F_p = F_2 - F_1.$$

Если в этом примере величины F_1 и F_2 равны, то мы наблюдаем равновесие. Значит, *если на тело (материальную точку) действуют две равные, но противоположные по направлению силы, то их равнодействующая равна нулю, т. е. $F_p = 0$.*

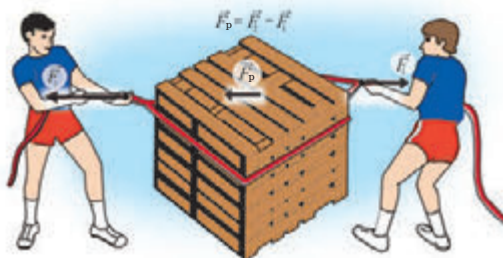


Рис. 3.31. Пример действия противоположно направленных сил

В таких случаях, несмотря на действие нескольких сил, тело (материальная точка) сохраняет либо состояние покоя относительно тела отсчета, либо движется прямолинейно и равномерно.



Вопросы

1. Какая сила называется равнодействующей нескольких сил?
2. Чему равна равнодействующая двух сил, направленных вдоль прямой в одном направлении?
3. Чему равна равнодействующая двух сил, направленных вдоль прямой в противоположные стороны? В какую сторону направлена эта сила?
4. Приведите примеры действия на тело нескольких сил. Сможет ли тело в таких ситуациях находиться в состоянии покоя или в состоянии равномерного прямолинейного движения? Объясните.



Упражнения 3.7

1. Вдоль прямой в одном направлении на тело действуют три силы: $F_1 = 50$ Н, $F_2 = 100$ Н; $F_3 = 180$ Н. Чему равна равнодействующая этих сил?
2. Модуль сил, действующих на какую-либо точку тела, равен 3 Н и 5 Н. Объясните, в каких случаях равнодействующая этих сил может быть равна 8 Н или 2 Н.

3. На тела вдоль прямой действуют три силы: $F_1 = 6$ Н, $F_2 = 3$ Н, $F_3 = 9$ Н. Чему равна равнодействующая этих сил? У этой задачи могут быть 4 правильных ответа.
4. С помощью приведенных ниже численных значений и направлений, приложенных к бруску массой m двух сил, определите равнодействующую этих сил (рис. 3.32). В какую сторону направлены равнодействующие этих сил?

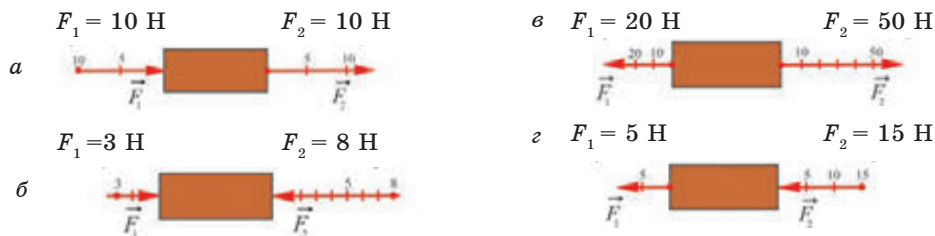


Рис. 3.32

Самое важное в главе 3

- Инерция** – явление сохранения скорости тела при отсутствии воздействия других тел.
- Взаимодействие** – действие тел друг на друга.
- Масса** – мера инертности тел.
- Плотность вещества** – физическая величина, равная массе в единице объема вещества:

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

- Сила** – физическая величина, характеризующая взаимодействие тел.
- Деформация** – изменение формы или размеров тела.
- Сила упругости** – сила, возникающая при деформации тела.
- Закон Гука** – модуль силы упругости при растяжении (или сжатии) тела, прямо пропорционален изменению длины тела:

$$F_{\text{упр}} = k|\Delta l|.$$

- Сила тяжести** – сила, с которой Земля притягивает тело:

$$\vec{F}_{\text{тяж.}} = m\vec{g}.$$

- Вес тела** – сила, с которой тело действует на опору или подвес.
- Сила трения скольжения** – сила, возникающая при скольжении одного тела по поверхности другого. Модуль силы трения:

$$F_{\text{тр}} = \mu N.$$



ГЛАВА

4

Основные понятия и законы: *давление, давление твердого тела, жидкостей и газов, приборы измерения давления, сообщающиеся сосуды, гидравлические машины, закон Архимеда*, рассматриваемые в этой главе, необходимы для понимания научного языка физики.

§ 22

МОЛЕКУЛЯРНОЕ СТРОЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ,
ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

1. Гипотеза о том, что все тела состоят из мельчайших частиц, впервые возникла в Древней Греции. Выдвинул ее древнегреческий философ Демокрит (V в. до н. э.). Он считал, что существует предел деления любого тела, в конце концов можно получить неделимые далее мельчайшие частицы – атомы (греч. *атомос* – неделимый). Также, по его мнению, атомы находятся в постоянном движении, у различных тел имеют разные размер и форму.

Гениальные предположения Демокрита, что тела состоят из мельчайших атомов, были подтверждены экспериментальными исследованиями спустя две тысячи лет. И в самом деле, на снимке электронного микроскопа, позволяющего увеличить объект исследования до сотен тысяч раз, хорошо видны порядок расположения атомов и расстояние между ними в кристалле золота (рис. 4.1). Здесь 1 \AA (один ангстрем) равен $1/100\,000\,000 = 10^{-8}$ см, или $1/10\,000\,000\,000 = 10^{-10}$ м. На рис. 4.2 вы видите расположение атомов на

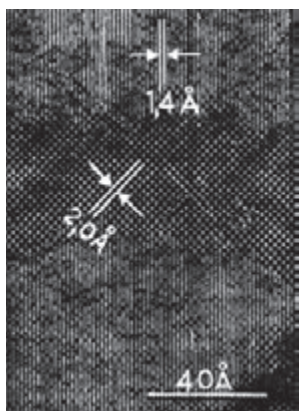


Рис. 4.1. Порядок расположения атомов золота

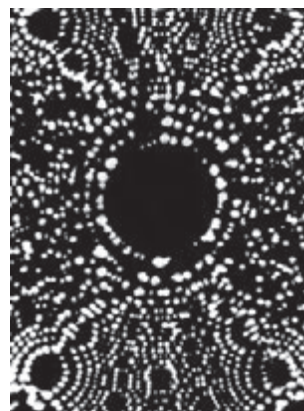


Рис. 4.2. Порядок расположения атомов вольфрама

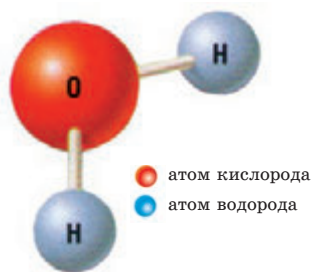


Рис. 4.3. Молекула воды

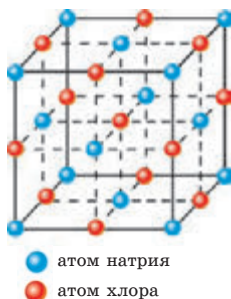


Рис. 4.4. Кристаллическая решетка поваренной соли

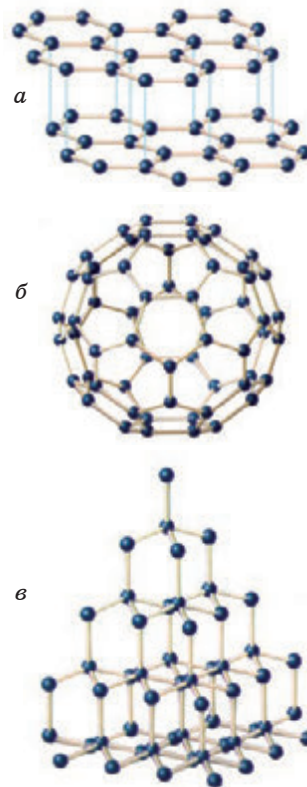


Рис. 4.5. Кристаллическая решетка: а – графита; б – фуллерена; в – алмаза

острие вольфрамовой иглы, полученное с помощью ионного проектора, позволяющего увеличить изображение до нескольких миллионов раз.

2. непохожие друг на друга различные атомы соответственно характеризуют свойства разного рода химических элементов (например, кислорода, угля, железа и т. д.). Атомы объединяются в молекулы. Молекулы характеризуют свойства более сложных веществ. Так, например, молекула воды состоит из атомов двух разных химических элементов (рис. 4.3). В ее состав входят связанные друг с другом один атом кислорода (химическое обозначение «O») и два атома водорода (обозначается как «H»). Поэтому молекула воды обозначается в химии как H_2O . Молекула пищевой соли состоит из одного атома натрия (Na) и одного атома хлора (Cl). Химическая формула – NaCl. Эти молекулы в кристалле соли представляют пространственную решетку правильной формы (рис. 4.4).

Вместе с тем очень часто встречаются такие вещества, молекулы которых состоят из атомов одного лишь химического элемента. Например, молекулы трех разных веществ: графита, алмаза и фуллерена содержат только атомы углерода (рис. 4.5). Однако из-за различий в строении их молекул они обладают разными свойствами. Например, графит (рис. 4.5, а) – очень мягкий возгорающийся материал, а алмаз (рис. 4.5, в) является самым твердым веществом. В то же время фуллерен (рис. 4.5, б), являясь относительно мягким веществом, выдерживает высокие температуры. Его молекулы, напоминающие футбольный мяч, состоят из 60 и более атомов углерода.

3. Итак, любое тело или вещество состоит из атомов и молекул. Широко применяемые в физике такие понятия, как *материя*, *вещество* и *тело*, взаимосвязаны. Понятие *материи* шире и глубже, чем понятие *вещества*, а понятие *вещества* более емко, чем понятие *тела*. **Телом называют любой объект, имеющий определенную форму**

и занимающий конкретный объем. Тогда как **веществом называют все то, что состоит из атомов и молекул**. Например, пар или любой газ не имеют ни собственной формы, ни определенного объема. Следовательно, они не относятся к телу, а дополняют ряд веществ.

Материя – это все то, что существует во Вселенной. В мире наряду с телами и веществами имеются также различные лучи и поля (например, магнитное, электрическое и гравитационное поля). Все это: и **вещество**, и **поле** – является **материей**.

4. На основе накопившихся многовековых экспериментальных данных три основных положения теории молекулярного строения вещества можно сформулировать следующим образом:

- 1) все тела состоят из мельчайших частиц – молекул и атомов;
- 2) молекулы и атомы находятся в непрерывном хаотическом движении;
- 3) молекулы и атомы взаимодействуют друг с другом.

Три агрегатных (твердое, жидкое и газообразное) состояния вещества характеризуют взаимное расположение и взаимодействие атомов и молекул этого же вещества. Молекулы твердого тела очень плотно располагаются, в отличие от молекул жидкости. А молекулы жидкости располагаются намного плотнее, чем молекулы в ее газообразном состоянии. Однако движение и взаимодействие атомов и молекул никогда не прекращается во всех агрегатных состояниях вещества. В этом и заключается основной смысл молекулярно-кинетической теории веществ.

Молекулы (атомы) многих тел в твердом состоянии образуют **кристаллическую решетку**. Тела, у которых молекулы располагаются в определенной последовательности, называются **кристаллическими**. Если молекулы тела расположены беспорядочно, то такие тела называются **аморфными**. Чистые металлы (рис. 4.1. и 4.2), поваренная соль (рис. 4.4) и твердое состояние воды – лед относятся к кристаллическим телам. Стекло относится к аморфным телам.

5. Нахождение вещества в различных агрегатных состояниях можно объяснить различием взаимодействующих сил между молекулами. Действительно, между молекулами тела действуют и **силы притяжения**, и **силы отталкивания**. На некотором расстоянии r_0 между молекулами эти силы уравновешивают друг друга. Если расстояние r между молекулами будет меньше r_0 ($r < r_0$), тогда сила отталкивания становится больше силы притяжения. Следовательно, сжатие тела становится труднее. В противном случае, т. е. если $r > r_0$, сила притяжения между молекулами становится больше силы отталкивания. Поэтому твердое тело не так легко поддается растяжению.

Сохранение объема и формы является характерным свойством, присущим всем твердым телам.

6. Обычно нам кажется, что сплошное твердое тело не имеет пустоты. Однако атомы и молекулы твердого тела не соприкасаются, а отстоят друг от друга, как было сказано выше, на расстоянии r_0 . Таким образом, льви-



Рис. 4.6. Большую часть объема атома занимает «пустое» пространство

ную долю объема твердого тела составляет «пустое пространство». Даже у монолитного атома огромный объем занимают «пустоты». В этом можно убедиться, мысленно увеличив центральное ядро атома до размера плода вишни и расположив его в центре футбольного поля (рис. 4.6), тогда орбиты атомных электронов, вращающихся вокруг ядра, растянутся до периферийных мест большого стадиона.

В пустоты между атомами и молекулами тела могут проникнуть атомы и молекулы других веществ.

Проникновение в межмолекулярное пространство одного вещества атомов и молекул другого вещества называется диффузией.

Диффузия играет как положительную, так и отрицательную роль в жизни человека. Так, например, благодаря диффузии питательные вещества и кислород глубоко проникают в организм, обеспечивая его жизненной энергией. С другой стороны, диффузия способствует проникновению в организм болезнетворных микробов и таких крайне вредных веществ, как табачный дым и наркотики. Установлено, что сколько раз человек вдыхает табачный дым, на столько же минут сокращается его жизнь. Следует отчетливо представлять, что самая первая обязанность человека перед самим собой – следить за своим здоровьем.

7. *Жидкость* легко меняет свою форму, но сохраняет объем. Она принимает форму того сосуда, в который ее наливают.

Сохранение объема, текучесть и легкое изменение формы являются свойствами, характеризующими жидкость. Этими свойствами жидкостей пользуются при изготовлении металлических изделий сложной формы. Для этого металл расплавляют, затем наполняют им специальные формы и охлаждают.

Молекулы жидкости располагаются беспорядочно и на больших расстояниях, в отличие от молекул твердых тел. Поэтому силы как притяжения, так и отталкивания между ее молекулами меньше, чем у твердого тела. Следовательно, жидкость легко течет и легко разделяется. Несмотря на это, объем жидкости трудно изменить, так как молекулы жидкости на определенном расстоянии r_0 стремятся сохранить равновесие между силами притяжения и отталкивания.

8. *Газы* – прозрачные и бесцветные вещества, поэтому мы их не видим. Молекулы тел, находящихся в газообразном состоянии, расположены гораздо дальше друг от друга, чем молекулы этих же тел в других состояниях. Воздух представляет собой смесь различных газов. Присутствие воздуха мы замечаем при глубоком вдохе и выдохе, при быстрой езде, а также когда дует ветер. Наличие воздуха можно доказать, проделав следующий простой опыт. Опустим в воду перевернутый вверх дном пустой стакан или какой-нибудь другой сосуд, при этом вода не занимает его объем полностью. Отсюда делаем вывод, что «пустой» сосуд занят каким-то другим веществом. Этим веществом является воздух, точнее – различные газы: азот, кислород, пары воды и т. д., входящие в состав воздуха. Вещество, находящееся в газообразном состоянии, легко меняет «форму» и «объем», так как расстояние между молекулами становится намного больше размеров самих молекул. Поэтому молекулы газа слабо взаимодействуют, а интенсивность хаотического движения возрастает. В отличие от твердого тела и жидкости газ занимает весь заданный ему объем.

Газы не имеют постоянного объема и конкретной формы, они занимают полностью весь предоставленный им объем.

В заключение отметим, что состояние любого вещества можно определить, *во-первых*, по расположению его молекул; *во-вторых*, по характеру движения; *в-третьих*, по способу взаимодействия этих молекул.



Вопросы

1. Из каких частиц состоит вещество? В чем суть гениального предположения Демокрита о строении вещества и как оно было доказано?
2. Каковы взаимосвязь и различия между понятиями «тело», «вещество» и «материя»?
3. Как формулируются три теоретических положения о строении вещества?
4. Как называются три агрегатных состояния вещества и как объясняются их различия?
5. Каковы особенные свойства вещества в твердом состоянии? Какие тела называются кристаллическими и аморфными?



6. Какое явление называется диффузией? Почему возникает диффузия и в чем заключается ее полезное и вредное влияние на жизнь человека?
7. Каковы особенные свойства вещества в жидком состоянии?
8. Какими особенными свойствами обладает вещество в газообразном состоянии?

§ 23

ДАВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

1. В повседневной жизни мы используем самые разнообразные инструменты, например ножницы, иголку, нож. Однако не всегда замечаем, что их действие зависит от площади поверхности, к которой приложена сила.

Например, проколоть ткань острым концом иголки легче, чем тупым; тупым ножом резать труднее, чем острым. Поэтому в целях уменьшения площади режущих частей инструментов их лезвия тщательно затачивают. По этой причине при вычислении действия различных приборов и инструментов нужно знать не только силу, с которой одно тело действует на другое, но и площадь поверхности, к которой приложена эта сила.

Проведем такой опыт. Перевернем маленький стол, поставим его крышкой на песок, а сверху поместим гирию массой 5 кг. В этом случае стол не проваливается в песок (рис. 4.7, а). Если же поставим столик на ножки и положим на него этот же груз, то он станет проваливаться в песок (рис. 4.7, б).

Точно так же человек с трудом идет по рыхлому снегу, потому что при каждом шаге проваливается в него. А если он будет идти по снегу на лыжах, то не провалится (рис. 4.8). Почему? На лыжах и без них человек действует на снег с одинаковой силой. Однако действие этой силы в обоих случаях различно, поскольку различна площадь поверхности, на которую давит человек. Площадь поверхности лыж в 20 раз больше площади стоп человека. Поэтому,

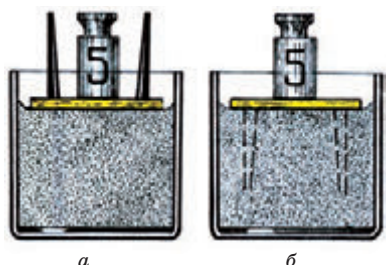


Рис. 4.7. Ножки стола легко проваливаются в песок



Рис. 4.8. На плотном снежном покрове человек на лыжах легко передвигается

стоя на лыжах, человек давит на каждый квадратный сантиметр площади поверхности снега с силой, в 20 раз меньшей, чем стоя без лыж.

В подобных случаях, чтобы показать различные результаты действия одной и той же силы на различную поверхность, вводят такую величину, как *давление*. Давление зависит не только от модуля действующей силы, но и от площади той поверхности, перпендикулярно которой эта сила действует. Говоря точнее: **давление – это отношение силы к площади, на которую в перпендикулярном направлении действует сила.**

Давление – это сила, действующая на единицу площади в направлении, перпендикулярном поверхности тела:

$$\text{давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}, \text{ или } p = \frac{F}{S},$$

где p – давление; F – сила, действующая перпендикулярно на поверхность; S – площадь поверхности, на которую действует сила.

Таким образом, **сила, перпендикулярно приложенная на единицу площади, называется давлением.**

Давление в твердых телах передается по направлению действия силы.

Если преобразуем формулу, приведенную выше, то получим:

$$F = pS, \text{ или } S = \frac{F}{p}$$

2. В Международной системе единиц давление выражается в паскалях (Па). Эта единица названа в честь французского ученого Б. Паскаля. *Один паскаль – это такое давление, которое производит сила в 1 Н на площадь 1 м², т. е. 1 Па = 1 Н/м².*

На практике используются и более крупные единицы давления – *гектопаскаль* (гПа), *килопаскаль* (кПа), *мегапаскаль* (МПа):

$$\text{гПа} = 100 \text{ Па} = 10^2 \text{ Па};$$

$$\text{кПа} = 1\,000 \text{ Па} = 10^3 \text{ Па};$$

$$\text{МПа} = 1\,000\,000 \text{ Па} = 10^6 \text{ Па}.$$

Пример решения задачи.

Иголка действует на пластинку с силой 0,27 Н. Какое давление производит иглолка на пластинку, если площадь ее острия равна 0,0003 см²?

Дано:	СИ	Теоретический анализ содержания задачи
$F = 0,27 \text{ Н}$ $S = 0,0003 \text{ см}^2$	0,27 Н $3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2$	Иголка действует на пластинку перпендикулярно силой F . Следовательно, давление иглолки на пластинку определяем по формуле:
$p = ?$		
		$p = \frac{F}{S}.$

Решение. $p = \frac{F}{S} = \frac{0,27 \text{ Н}}{3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = \frac{27 \cdot 10^{-2} \text{ Н}}{3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2} = 9 \cdot 10^6 \text{ Па} = 9 \text{ МПа}.$

Ответ: 9 МПа.



Вопросы

1. Почему при ручном шитье на палец надевают наперсток?
Почему человек, идущий на лыжах, не проваливается в снег?
Почему задние колеса грузовиков обычно сдвоенные?
2. Что называют давлением?
3. Как определяют давление?
4. Какие единицы давления вы знаете?
5. Можно ли увеличить или уменьшить давление? Что для этого нужно сделать?
6. Какой лопатой легче копать землю (рис. 4.9)?

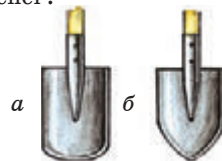


Рис. 4.9. Лопаты



Упражнения 4.1

1. На площадь 100 см^2 действует сила 50 Н . Определите давление, оказываемое этой силой.
2. Вес лыжника, стоящего на снегу, 780 Н . Длина каждой лыжи – $1,95 \text{ м}$, ширина – 6 см . Какое давление производит лыжник на снег?
3. Трактор ДТ-75М массой 6610 кг имеет опорную площадь обеих гусениц $1,4 \text{ м}^2$. Какое давление оказывает трактор на почву?



Практические задания

1. Помещая прямоугольный брусок на стол каждый раз разной гранью, определите для каждого случая величину давления, производимого бруском на поверхность стола.
Определите с помощью динамометра вес бруска; найдите площадь всех его граней. Вычислив значение давления для трех случаев, сопоставьте их.
2. Вычислите, какое давление вы оказываете на пол.
Оборудование: напольные весы и лист бумаги в клетку (размер клетки $0,5 \times 0,5 \text{ см}$). С помощью весов определите свою массу. Рассчитайте силу тяжести, действующую на вас ($F = mg$). Определите площадь ботинка: поставьте ногу на лист бумаги в клетку и обведите контур той части подошвы, на которую опирается нога. Сосчитайте число полных квадратиков (N_1), попавших внутрь контура, и прибавьте к нему половину числа неполных квадратиков (N_2), через которые прошла линия контура $N = N_1 + N_2$. Полученное число умножьте на площадь одного квадратика и найдите площадь подошвы (S). Зная площадь и силу, действующую перпендикулярно поверхности, определите давление, которое вы производите стоя и при ходьбе. Сравните полученные данные и сделайте вывод, как зависит давление от площади опоры.

§ 24

ДАВЛЕНИЕ В ЖИДКОСТЯХ И ГАЗАХ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

1. Прочитав материалы § 23, не трудно догадаться, что твердое тело оказывает давление только в одном направлении. В этом можно убедиться, проведя такой опыт.

Положите левую руку на стол ладонью кверху (рис. 4.10). На ладонь поставьте вертикально книгу. Надавите правой рукой на книгу сверху вниз. Ощущает ли левая рука возрастание давления? Несомненно, ощущает. Теперь поставьте книгу не на руку, а на стол. Одной рукой надавите на книгу, а вторую руку приставьте к книге сбоку. Ощущает ли в этом случае рука дополнительное давление? На этот раз не ощущает.

Проведя этот опыт, вы убедились в том, что книга передает оказываемое на нее давление строго в направлении внешнего воздействия. Следовательно, все твердые тела распространяют давление строго в определенном направлении. Это можно объяснить тем, что молекулы в твердых телах расположены в определенном порядке, совершая колебания вокруг определенной точки. Такие молекулы сдвигаются только по направлению внешней силы, не могут переместиться далеко от этой точки.

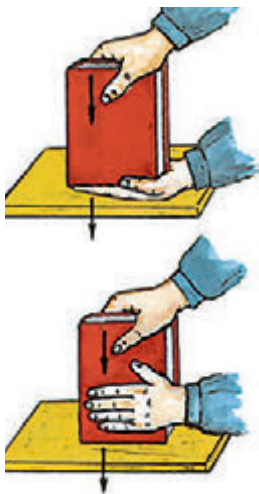


Рис. 4.10. Твердое тело передает давление только в одном направлении

2. В жидкостях и газах давление передается по-другому. В отличие от твердых тел они передают оказанное на них давление равномерно во всех направлениях, поскольку их молекулы хаотически легко перемещаются во все стороны. Молекулы же твердого тела смещаются только по направлению приложенной силы.

Равномерное распределение давления воздуха во всех направлениях можно заметить во время надувания воздушного шара или баскетбольного мяча. Несмотря на то что воздух подается только в одном направлении, шар или мяч раздуваются ровно по всем направлениям. Это явление отличается от передачи давления в твердых телах.

Теперь для того чтобы определить, как на самом деле распространяется давление в жидкостях и газах, проведем опыт с прибором, который называется шаром Паскаля. Он состоит из шара с узкими отверстиями и стеклянной трубки с поршнем (рис. 4.11). Если заполнить шар водой или дымом, затем нажать

на поршень, то струи воды или дыма фонтанируют во все стороны и имеют одинаковую длину. Опыт показывает, что давление не только передается одинаково во всех направлениях, но и имеет одинаковое значение.

Опираясь на многочисленные наблюдения, французский ученый Блез Паскаль установил следующую закономерность, названную **законом Паскаля**: *давление, производимое на жидкость или газ, передается по всем направлениям без изменения.*

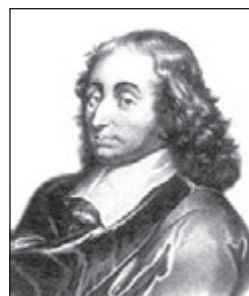
Способность газов и жидкостей передавать давление во все стороны объясняется большой хаотической подвижностью молекул, из которых они состоят.

3. В самом деле, известно, что молекулы газа непрерывно и беспорядочно движутся с большой скоростью. При этом они сталкиваются друг с другом, а также со стенками сосуда, в котором находится газ (рис. 4.12). В 1 см^3 воздуха содержится очень много молекул, поэтому и число ударов огромно. Например, установлено, что в воздухе, находящемся в комнате, число ударов молекул за 1 с на площадь 1 см^2 выражается 23-значным числом. Хотя удар отдельной молекулы слаб, но действие ударов всех молекул о стенки сосуда значительно. Оно и является причиной давления газа. Итак, *давление газа на стенки сосуда (и на помещенное в газ тело) вызывается беспорядочными ударами молекул газа.*

Если уменьшить объем газа таким образом, чтобы масса его осталась неизменной, то в каждом кубическом сантиметре газа число молекул станет больше (рис. 4.13). В связи с этим увеличится и плотность газа. Тогда число ударов молекул о стенки сосуда увеличится, т.е. давление газа возрастает. А если увеличиваем



Рис. 4.11.
Шар Паскаля



Блез Паскаль
(1623–1662)

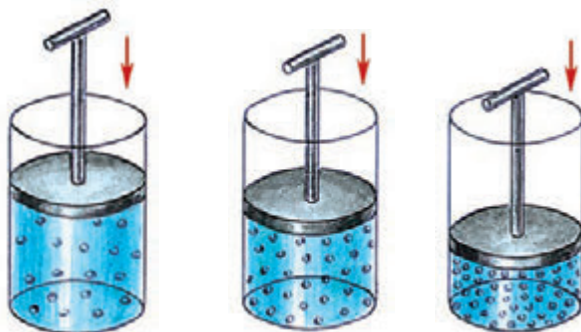


Рис. 4.13. При уменьшении объема газа
возрастает его плотность

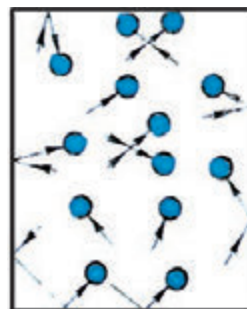


Рис. 4.12.
Хаотичное
движение
молекул газа



Рис. 4.14. Сильно сжатый газ хранят в стальных баллонах

объем газа, то количество молекул в одном кубическом сантиметре (1 см^3) уменьшается; соответственно снижается и давление.

Таким образом, *если, не изменяя массы и температуры газа, уменьшить его объем, то давление газа увеличится, а если увеличить объем, то давление уменьшится.*

При перевозке и хранении газов их сильно сжимают. Вследствие этого давление газа возрастает, поэтому газы заключают в очень прочные стальные баллоны (рис. 4.14).



Рис. 4.15. Самое большое давление приходится на самый нижний слой жидкости

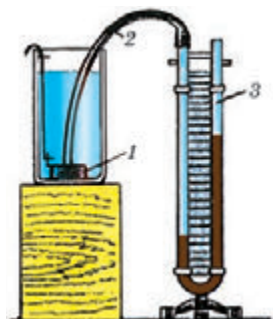


Рис. 4.16. Изменение давления в связи с глубиной

4. Для характеристики давления в жидкости, находящейся в сосуде, мысленно разделим ее на несколько слоев (рис. 4.15). На верхний слой *d* действует сила тяжести, прижимающая его ко второму слою и оказывающая на него какое-то определенное давление. Второй слой *c* передает это давление по закону Паскаля вниз и во все направления одинаково; кроме того, на этот слой действует сила тяжести, прижимающая его к третьему слою *b*. Тогда давление, приложенное к третьему слою, равно сумме давлений, действующих на первые два слоя. Наибольшее давление приходится на слой *a*, находящийся на глубине *h*.

Итак, приходим к выводу: *чем ниже (глубже) находится слой жидкости, тем больше в нем давление, вызванное действием силы тяжести.*

В правильности этого вывода можно убедиться на опыте. Для этого воспользуемся небольшой коробкой (1) (рис. 4.16). Одна ее сторона закрыта тонкой резиновой пленкой. С помощью резиновой трубки (2) коробка соединена с прибором, который называется манометром (3). (С его устройством вы ознакомитесь позже.)

По показаниям манометра наблюдаем следующее: чем глубже погружаем прибор в сосуд с водой, тем большее давление он испытывает. Это доказывает, что давление в жидкостях увеличивается с возрастанием глубины. Такой вывод справедлив и для газа.

При нырянии человек должен помнить о том, что давление внутри жидкости зависит от глубины. Без специальной тренировки человек не сможет погрузиться на большую глубину, потому что под действием высокого давления его кровь будет насыщаться азотом. Нельзя и быстро подниматься на поверхность воды, так как вследствие резкого уменьшения давления азот начинает выделяться из крови в виде пузырьков, т. е. кровь как бы закипает. Пузырьки азота закупоривают кровеносные сосуды, что нередко приводит к очень тяжелым последствиям, например, к развитию

кессонной болезни. Особенно это приходится учитывать пловцам и водолазам, ныряющим на глубину. Если самочувствие пловца ухудшилось, то его помещают в *барокамеру*, где очень высокое давление воздуха. После пребывания в течение некоторого времени в барокамере давление человека постепенно снижается до нормального.

5. Теперь рассмотрим пример расчета давления жидкости, оказываемого ею на дно и стенки сосуда. Мы знаем, что для этого нужно силу давления разделить на площадь поверхности, на которую действует эта сила. Например, в сосуд цилиндрической формы с площадью основания S нальем жидкость массой m . Сила давления равна силе тяжести, действующей на данную жидкость: $F = P$, т. е. $P = mg$, отсюда давление жидкости на дно сосуда равно:

$$p = \frac{P}{S}, \text{ или } p = \frac{mg}{S}.$$

Массу жидкости можно выразить через ее плотность: $m = \rho V$, а ее объем – через произведение площади дна сосуда и высоты столба жидкости: $V = hS$. Тогда давление, которое оказывает столб жидкости на дно сосуда, определяется по формуле $p = \frac{g\rho Sh}{S}$, или:

$$p = \rho gh.$$

Из полученной формулы следует, что *давление жидкости, на которую действует сила тяжести, не зависит от площади дна сосуда, а зависит только от высоты столба жидкости и ее плотности.*

Например, давление столба ртути на дно сосуда в 13,6 раза больше давления столба воды такой же высоты, так как плотность ртути в 13,6 раза больше плотности воды ($\rho_p = 13,6 \rho_w$).

6. Земля окружена водами Мирового океана, глубина которого доходит до 11 км, а также газовой оболочкой атмосферы высотой в несколько сотен километров (см. с. 3 форзаца). Что касается газов, то давление верхнего слоя на нижние, так же как в жидкостях, определяется формулой $p = \rho gh$. Газ также имеет вес. Однако давление в газах в несколько сот раз меньше, чем в жидкостях.

Самое большое атмосферное давление фиксируется на уровне моря. По мере увеличения высоты давление атмосферных газов уменьшается.



Вопросы

1. Как передает давление твердое тело? Чем это объяснить?
2. Почему жидкости и газы передают давление во все стороны одинаково? Как можно это объяснить?
3. Как формулируется закон Паскаля?
4. Почему давление газа увеличивается при его сжатии и уменьшается при расширении?
5. Какой формулой определяется давление верхнего слоя жидкости (газа) на нижние? Охарактеризуйте каждую величину, входящую в формулу.



Рис. 4.17

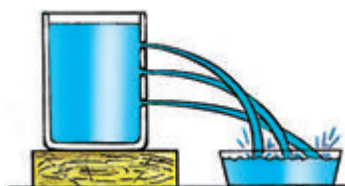


Рис. 4.18



- В два разных цилиндрических сосуда налита вода равной массы (рис. 4.17). Одинаково ли давление на дно сосудов? Ответ обоснуйте.
- Струя воды, вытекающая из верхнего отверстия цилиндра, ближе к цилиндру, чем струя воды, вытекающая из нижнего отверстия (рис. 4.18). Как можно объяснить такое явление?
- С одинаковой ли скоростью вытекает вода из сосуда, находящегося на вершине горы, и из сосуда, находящегося у ее подножия?
- Одинаково ли прогибается резиновое дно сосуда с водой на Земле и на Луне? Объясните.
- Прогнется ли резиновое дно сосуда с водой, находящегося в кабине космического корабля в условиях невесомости?

Упражнения 4.2

- Определите давление на глубине 0,6 м в воде, керосине, ртути.
- Вычислите давление воды на дно в одной из глубочайших морских впадин, глубина которой 10 900 м. Плотность морской воды 1030 кг/м^3 .
- Человек может опуститься на глубину до 9 м. Вычислите давление воды на человека на этой глубине (плотность морской воды 1030 кг/м^3).
- Десятибалльный ураганный ветер оказывает давление на препятствие в 1100 Па. Какое давление оказывает этот ветер на стену дома с площадью 24 м^2 ?

Практические задания

- Возьмите высокий сосуд. В его боковой поверхности на разной высоте от дна сделайте три маленьких отверстия. Закройте отверстия спичками и наполните сосуд водой. Откройте отверстия и наблюдайте за струйками вытекающей воды. Из чего видно, что давление увеличивается с глубиной?
- В стеклянный сосуд (стакан или банку) налейте произвольное количество воды. Выполнив необходимые измерения, вычислите давление воды на дно сосуда.
- Опустите стеклянную трубку в стакан с водой. Верхний конец трубки плотно закройте пальцем и выньте ее из воды. Почему вода не выливается из трубки? Откройте верхний конец трубки. Почему теперь вода выливается из трубки?
 - Вставьте в стеклянную трубку поршень, опустите трубку в стакан с водой и потяните поршень вверх. Почему вода поднимается за поршнем?
 - Наберите воду в пипетку. Вылейте воду из пипетки в стакан. Последовательно анализируя свои действия, объясните явления, которые их сопровождали.

§ 25

СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

1. Сосуды, имеющие общую часть, называются сообщающимися (рис. 4.19). Формы и объемы таких сосудов могут быть разными. К сообщающимся сосудам относятся, например, кувшин, чайник (рис. 4.20), кофейник, лейка.

Принцип действия сообщающихся сосудов можно продемонстрировать с помощью следующего простого опыта. Соединив две стеклянные трубки резиновой трубкой, наполняют их водой (рис. 4.19, а). Затем их начинают перемещать (вверх, вниз) относительно друг друга. При этом уровень воды в трубках не изменится (рис. 4.19, б).

Известно, что давление столба жидкости зависит от его высоты. Однако, когда действует одинаковое атмосферное давление и слева, и справа, то жидкость находится в равновесии на одном и том же уровне.

Теперь одну из стеклянных трубок, изображенных на рис. 4.19, заменим трубкой другой формы и повторим опыт. И в этом случае уровни жидкости в сосудах любой формы остаются одинаковыми (рис. 4.21).

Отсюда можно сделать вывод: *если атмосферное давление воздуха над жидкостью одинаково, то поверхности однородной жидкости в каждом колене сообщающихся сосудов любой формы устанавливаются на одном уровне.*

2. Если в каждое колено сообщающихся сосудов налить разные жидкости, то при равновесии уровни этих жидкостей не будут одинаковыми. В качестве при-

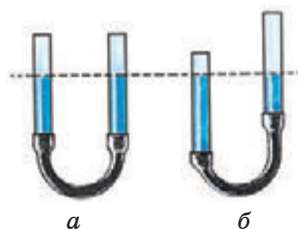


Рис. 4.19.

Сообщающиеся сосуды



Рис. 4.20. Чайники – сообщающиеся сосуды

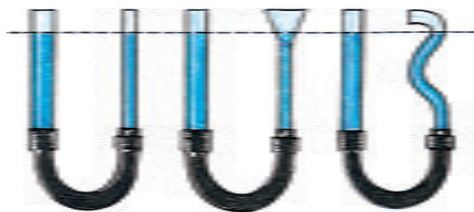


Рис. 4.21. Сообщающиеся сосуды различной формы

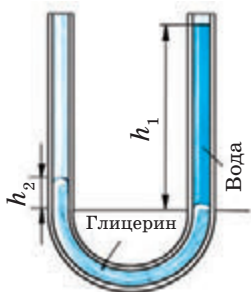


Рис. 4.22.
Сообщающиеся
сосуды с водой
и глицерином

Отсюда:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

Следовательно, вытекает и такой вывод: **в сообщающихся сосудах высота столбов разнородных жидкостей обратно пропорциональна их плотности.**

3. На основе принципа действия сообщающихся сосудов осуществляется строительство водопровода. С его помощью из одного общего центра снабжаются водой город, село, промышленные и сельскохозяйственные предприятия. *Бытовой водопровод* снабжает питьевой водой население, удовлетворяет бытовые нужды людей, работающих на заводах и фабриках. *Промышленный водопровод* удовлетворяет только промышленные и технологические нужды.

Принцип работы водопровода заключается в следующем. На вершине высокой башни устанавливается большой сосуд для накопления воды. От него протягивают трубы к домам, к потребителям. Концы труб в домах и квартирах закрываются кранами. Давление в кране равно давлению столба воды высотой, равной разности высот крана и свободной поверхности воды в баке.

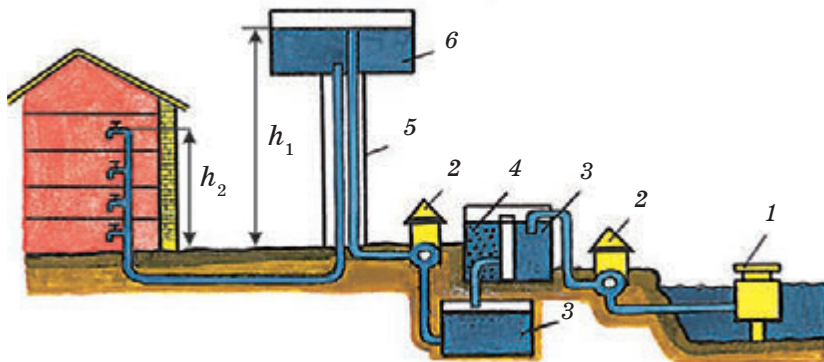


Рис. 4.23. Водопровод. 1 – водосборник, в который поступает вода из водоема (реки или озера); 2 – насосы; 3 – отстойники; 4 – фильтр; 5 – водонапорная башня; 6 – резервуар чистой воды на башне

Это давление бывает значительным, поскольку водонапорная башня устанавливается на самом высоком месте города, села и т. д. (рис. 4.23).

Принцип работы водонапорной башни основан на свойствах сообщающихся сосудов. В этом можно убедиться, проделав следующий опыт. Одну из стеклянных трубок, изображенных на рис. 4.24, соединим с трубкой, имеющей сбоку отверстия, закрываемые кранами, и наполним ее водой. Тогда при открывании крана из любого отверстия, расположенного ниже уровня воды в первой трубке, вытекает вода. Отсюда видно, что водопровод не может подать воду на высоту, превышающую высоту свободной поверхности воды в сосуде водонапорной башни.

Вода из водоема наливается в сосуд, установленный на башне с помощью насоса. По пути к сосуду вода проходит через водосборник, отстойник, фильтры.

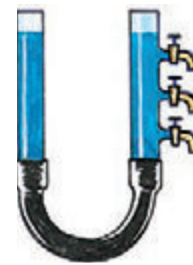


Рис. 4.24.
Сообщающиеся
сосуды
с отверстиями
на разных уровнях



Из истории развития науки и техники

Первые водопроводы были сооружены несколько тысяч лет тому назад. В Древнем Египте подземная вода из глубоких колодцев поднималась водоподъемниками и по керамическим и деревянным трубам подавалась потребителям. В Древнем Риме использовалась более сложная система водоснабжения. Там трубы проходили через реки, дороги и т. д. В Западной Европе (Париж) водопровод с деревянными трубами был сооружен в конце XVII в. В XVIII в. начали сооружение водопровода в Англии. В Москве централизованный коммунальный водопровод построили в 1804 г.

В Алматы первый деревянный водопровод появился в октябре 1902 г. В качестве материала для труб использовался лес из местной тянь-шаньской ели. Его длина составляла приблизительно 3 км. Через каждые 3 квартала были устроены бассейны и водоразборные колонки для аварийных ремонтов и дальнейшей разводки воды. С 1935 г. началось плановое строительство водопроводов, в которых использовались железобетонные и керамические трубы.

Археологические раскопки свидетельствуют о том, что на территории Казахстана, в городах Отрар и Тараз, в X–XII вв. существовал водопровод из обожженной керамики.



Вопросы

1. Приведите примеры сообщающихся сосудов.
2. Сообщающиеся сосуды имеют три колена. В них налиты вода, керосин и ртуть. Как и в каком порядке располагаются свободные поверхности этих разнородных жидкостей? Объясните.
3. В каких устройствах используются сообщающиеся сосуды?
4. На чем основан принцип работы водопровода?
5. Каково устройство башенного водопровода? Почему водонапорную башню устанавливают на самом высоком месте?
6. Как работает артезианский колодец?



Упражнения 4.3

1. Объясните действие прибора, изображенного на рис. 4.25. Определите уровень жидкости в паровом котле, где 1 – паровой котел, 2 – кран, 3 – водомерное стекло.
2. Подумайте, как можно соорудить фонтан. Начертите его схему и объясните принцип действия.
3. На рис. 4.26 представлена схема шлюзования судов. Внимательно посмотрите на рисунок и разберитесь в работе этого устройства. Какое известное вам явление используется в работе шлюзов?

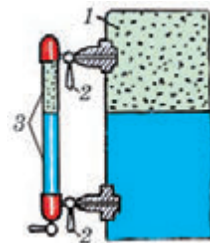


Рис. 4.25. Образец парового котла

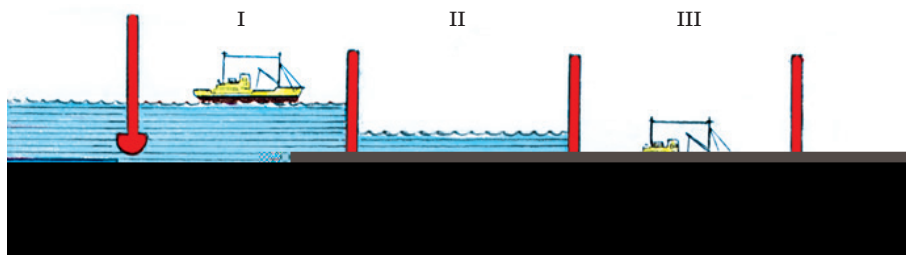


Рис. 4.26. Шлюзы, пропускающие суда



Практическое задание

Наблюдение уровней жидкости в сообщающихся сосудах

Оборудование: две стеклянные трубки, соединенные резиновой трубкой и заполненные водой; штатив.

Одну трубку с водой укрепите в лапке штатива, а другую перемещайте в разных направлениях так, чтобы вода не выливалась. Обратите внимание на то, как располагаются уровни воды в стеклянных трубках. Сделайте рисунки опытов в тетради.

§ 26

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

1. Установки, действие которых основано на законах движения и равновесия жидкостей в сообщающихся сосудах, называются *гидравлическими машинами* (греч. *гидравликос* – водяной). Например, гидравлическими являются машины, применяемые для прессования ваты, бумаги, опилок дерева (гидравлические прессы). На автомобилях бывают гидравлические тормоза; кресла, поднимаемые гидравлическим способом; на тракторах –

гидравлические подъемники, предназначенные для поднятия тяжелых грузов. Все они являются гидравлическими машинами, так как в них используется сила давления в жидкостях.

Простейшая гидравлическая машина состоит из двух цилиндров с разными площадями поперечного сечения (рис. 4.27). Цилиндры соединены между собой и заполнены жидкостью (обычно маслом). В цилиндрах установлены подвижные поршни.

Пусть площадь поперечного сечения малого цилиндра S_1 , а большого – S_2 . Если на поршень в малом цилиндре действует сила F_1 , то в нем создается давление $p = F_1/S_1$ на жидкость. По закону Паскаля жидкость передает это давление на большой поршень. В результате на большой поршень действует сила

$$F_2 = pS_2, \text{ где } p = \frac{F_1}{S_1}.$$

$$\text{Следовательно, } F_2 = \frac{F_1}{S_1} S_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}.$$

$$\text{Таким образом, } F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}.$$

Это выражение можно записать и так:

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

В этом равенстве $\frac{S_2}{S_1} > 1$, так как $S_2 > S_1$. Следовательно $\frac{F_2}{F_1} > 1$; т. е. $F_2 > F_1$.

Итак, используя гидравлические машины, можно получить выигрыш в силе. Отсюда вытекает следующий вывод: **в гидравлической машине выигрыш в силе получается во столько раз больше, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого поршня.**

Поэтому гидравлические машины находят широкое применение в технике. Современные мощные гидравлические прессы позволяют создать силу до 700 тыс. кН. Такие прессы используются на заводах для придания металлическим заготовкам требуемой формы и объема.

2. Однако, получив с помощью прессы выигрыш в силе, мы проигрываем в расстоянии. В этом можно убедиться на опыте. Предположим, что, подействовав с силой F_1 на малый поршень (рис. 4.27, б), передвинем его на глубину h_1 . При этом жидкость объемом $V = h_1 S_1$ переходит в сторону большого цилиндра, и большой поршень поднимется вверх на высоту h_2 .

Таким образом, большой поршень по сравнению с глубиной h_1 , на которую переместился малый поршень, поднялся на небольшую высоту h_2 . Получается, что, выиграв в силе, мы проиграли в расстоянии. Объем жидкости, перешедшей в сторону большого поршня, не изменяется, т. е. $V = h_2 S_2$.

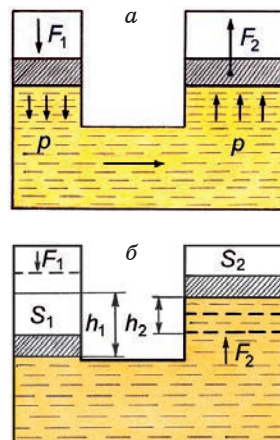


Рис. 4.27. Сечения сообщающихся сосудов в гидравлической машине

Итак, $h_1 S_1 = h_2 S_2$, или $\frac{h_1}{h_2} = \frac{S_2}{S_1}$.

Сравнив выражения $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ и $\frac{S_2}{S_1} = \frac{h_1}{h_2}$, получим $\boxed{\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}}$.

Это соотношение показывает: **во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии.**

Выгода состоит в том, что с помощью гидравлического пресса человек, даже не обладая достаточной силой, способен выполнять самые тяжелые работы.



Вопросы

1. Какая установка называется гидравлической машиной? Какой закон используется в ее работе?
2. Как устроен гидравлический пресс? Где его используют?
3. Будет ли разница в действии гидравлического пресса на Земле и на Луне? Если необходимо поднять грузы одинаковой массы на одну и ту же высоту на Земле и Луне, то следует ли приложить одинаковую силу на плечо пресса? Обоснуйте.



Упражнения 4.4

1. Диаметр большого цилиндра гидравлической машины – 50 см, а малого – 4 см. Какой выигрыш в силе дает эта машина?
2. Гидравлический пресс должен производить силу $2,7 \cdot 10^5$ Н. Диаметр малого поршня – 3 см, большого – 90 см. Какая сила должна быть приложена к малому поршню?
3. Площадь малого поршня гидравлического пресса – 5 см^2 , большого – 500 см^2 . На малый поршень действует сила 400 Н, на большой – 36 кН. Какой выигрыш в силе дает этот пресс? Почему пресс не может дать максимальный (наибольший) выигрыш в силе? Какой выигрыш в силе мог бы дать этот пресс в случае отсутствия трения между поршнем и стенками пресса?



Практическое задание

На рис. 4.28 изображена схема автомобильного гидравлического тормоза, где 1 – тормозная педаль, 2 – цилиндр с поршнем, 3 – тормозной цилиндр, 4 – тормозные колодки, 5 – тормозные барабаны, 6 – пружина. Цилиндр и трубки заполнены жидкостью. Объясните по этой схеме, как работает тормоз.

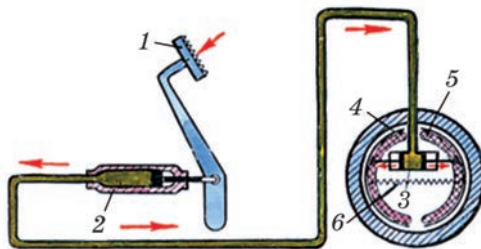


Рис. 4.28

§ 27

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

1. Вам известно, что Землю окружает воздушная оболочка – **атмосфера** (греч. *атмос* – «пар, воздух» и *сфера* – «шар»).

Атмосфера состоит из нескольких слоев. Притягиваясь к Земле, ее верхние слои оказывают давление на нижние. Атмосферу составляют газы, а газы, согласно закону Паскаля, передают давление по всем направлениям. В результате этого земная поверхность и тела, находящиеся на ней, испытывают **атмосферное давление**.

Проведем следующий опыт. Затянем воронку резиновой пленкой от воздушного шара и с помощью насоса откачаем воздух из воронки (рис. 4.29). При этом пленка втягивается внутрь. До откачивания воздуха из воронки на пленку с двух сторон действовало одинаковое давление, поэтому она была плоской. После того как откачали воздух из воронки, давление в ней уменьшилось, и под воздействием внешнего атмосферного давления пленка изогнулась вовнутрь.

Для проведения второго опыта возьмем стеклянную трубку, внутри которой находится поршень, плотно прилегающий к стенкам трубки. Опустим поршень до соприкосновения с водой, затем поднимем его вверх (рис. 4.30). Вода начнет подниматься. Происходит это потому, что атмосфера давит на поверхность воды. По закону Паскаля вода передает это давление в трубку снизу вверх. Так атмосферное давление поднимает воду вслед за поршнем.

2. Теперь рассмотрим опыт, проведенный в XVII в. итальянским ученым **Э. Торричелли**. Он заключается в следующем: стеклянную трубку длиной 1 м, запаянную с одного конца, наполняют ртутью. Затем, плотно закрыв другой конец трубки, ее переворачивают, опустив открытый конец в чашку со ртутью. Из трубки при этом выливается лишь

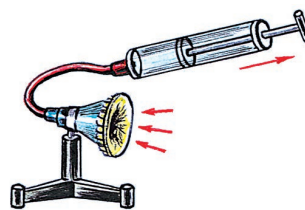


Рис. 4.29. Прибор, демонстрирующий действие атмосферного давления

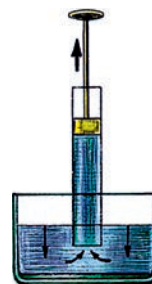


Рис. 4.30. Под действием атмосферного давления вода поднимается

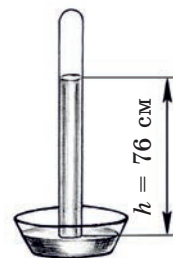


Рис. 4.31. Столбик ртути удерживается атмосферным давлением

небольшая часть ртути. В трубке же остается столбик ртути высотой 76 см (рис. 4.31).

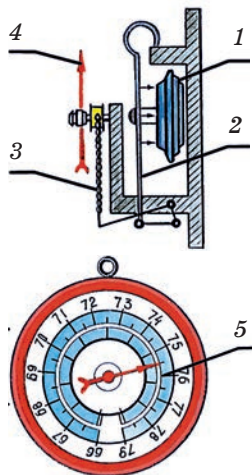
Торричелли, объясняя результаты своего опыта, правильно утверждал, что столбик удерживается внешним атмосферным давлением. Именно он впервые заметил связь между изменением атмосферного давления и изменением погоды. Позже *установка Торричелли* стала использоваться для измерения атмосферного давления.

Атмосферное давление вычисляют по высоте ртутного столба. *За единицу атмосферного давления принимают 1 миллиметр ртутного столба (1 мм рт. ст.).*

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,3 \text{ Па} = 1,33 \text{ гПа.}$$

Прибор, предназначенный для измерения атмосферного давления, называют **барометром** (греч. *барос* – «тяжесть», *метрео* – «измеряю»).

Если к трубке с ртутью в опыте Э. Торричелли прикрепить вертикальную шкалу, то получим простейший *ртутный барометр*. Высота столба ртути в ртутном барометре приблизительно равна 1 м. Его нужно повесить или установить вертикально. Переносить такой барометр очень тяжело, неудобно, да и опасно, поскольку пары ртути ядовиты. Использование такого барометра на кораблях, самолетах и во многих других условиях, когда необходимо измерить давление, неудобно.



В этой связи для измерения атмосферного давления используют безопасный **барометр-анероид** (греч. *анероид* – «безжидкостный»). Барометр-анероид (рис. 4.32) состоит из металлической гофрированной коробочки 1, из которой выкачан воздух. Чтобы атмосферное давление не раздавило коробочку, ее крышку оттягивают пружиной 2. При изменении атмосферного давления изменяется объем гофрированной коробочки, вследствие чего пружина растягивается или сжимается. Например, при увеличении атмосферного давления крышка прогибается вниз и пружина растягивается. А при уменьшении давления крышка возвращается в исходное положение, а пружина, наоборот, сжимается. Механизм рычагов 3 передает такое движение пружины к указателю 4, который скользит вдоль шкалы прибора. Шкала 5 градуируется в мм рт. ст., а иногда – в паскалях (10^3 Па).

Рис. 4.32. Схема барометра-анероида

Поскольку атмосферное давление связано с атмосферными явлениями, то по показаниям барометра можно осуществлять прогноз погоды.



Вопросы

1. В чем заключается причина появления атмосферного давления?
2. Расскажите, в чем суть опыта Э. Торричелли.
3. Почему человек выдерживает атмосферное давление? На основе каких физических процессов происходит дыхание человека и других млекопитающих?



4. Что принято за единицу измерения атмосферного давления?
5. Для чего используется барометр?
6. Каково устройство барометра-анероида? Как он работает?
7. Для чего необходимо постоянно измерять атмосферное давление в разных местах земного шара? Какое значение оно имеет в метеорологии?



Практические задания

1. Опустив стакан в сосуд с водой, переверните его вверх дном и поднимите из воды на такую высоту, чтобы нижний край стакана оставался погруженным в воду. Что вы наблюдаете? Как объяснить данное явление?
2. Налейте в стакан воду и закройте его листом бумаги. Поддерживая лист рукой, переверните стакан вверх дном. Если теперь отнять руку от бумаги, то вода из стакана не выльется (рис. 4.33). Бумага останется как бы приклеенной к краям стакана. Почему? Обоснуйте ответ.



Рис. 4.33

§ 28

МАНОМЕТРЫ. НАСОСЫ

1. В природе и технике часто встречаются процессы, происходящие при давлении больших или меньших атмосферного. Во многих случаях давление таких процессов необходимо постоянно контролировать. Для этой цели используются приборы, называемые *манометрами* (греч. *манос* – «редкий, неплотный», *метрео* – «измеряю»).

Простейший открытый жидкостный манометр состоит из U-образной стеклянной трубки (рис. 4.34, а). В трубку наливают определенную жидкость (масло, спирт, вода). Один конец трубки оставляют открытым, а другой соединяют с резиновой трубкой. Уровень жидкости в обоих коленах будет одинаковым, так как на поверхность жидкости в коленах действует только атмосферное давление. Теперь соединим резиновую трубку с круглой коробочкой, одна сторона которой затянута резиновой пленкой, и слегка надавим на пленку пальцем (рис. 4.34, б). При этом уровень жидкости в колене манометра, соединенном с коробочкой, понизится, во втором же колене – повысится. Чем сильнее давить на пленку, тем больше будет разность уровней жидкости в коленах, так как при надавливании на пленку уменьшается объем воздуха в коробочке и повышается его давление. По закону Паскаля это увеличение давления передается жидкости в том колене манометра, которое присоединено к коробочке. Жидкость придет в равновесие, когда

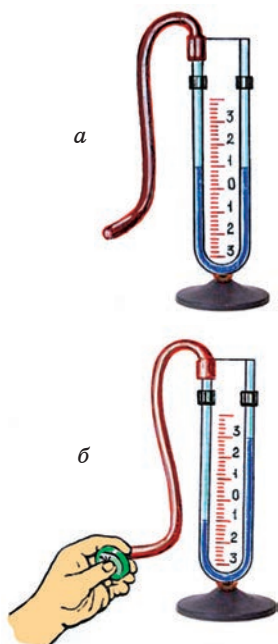


Рис. 4.34

избыточное давление сжатого воздуха уравнивается давлением, которое производит избыточный столб жидкости в другом колене манометра. Об изменении величины давления можно судить по высоте этого избыточного столба, т. е. по разности давления.

2. В технике для измерения давления жидкостей, газов или паров в основном используются металлические трубчатые манометры, которые иногда называют *манометрами Бурдона* (рис. 4.35). Такой вид манометра работает, как игрушечная пищалка, распрямляющаяся при надувании (рис. 4.36).

Трубчатый манометр был изобретен в 1848 г. французским ученым Э. Бурдоном. Основная часть металлического манометра – согнутая в дугу металлическая трубка 1. (рис. 4.35) Один конец трубки запаян. Другой конец трубки посредством крана 5 соединяется с сосудом, в котором измеряют давление. При увеличении давления трубка распрямляется, и движение ее закрытого конца с помощью рычага 4 и зубчатки 3 передается стрелке 2, движущейся по шкале прибора. При уменьшении давления упругая трубка наоборот сгибается, и стрелка перемещается в обратном направлении.

Давление в системе кровообращения человека измеряют с помощью специального прибора – сфигмоманометра (греч. *сфигмос* – «биение сердца» + *манометр*), или, как мы называем его сейчас, *тонометра*. Этот прибор состоит из манжеты, надеваемой на руку человека; нагнетателя воздуха, создающего давление в манжете; и манометра, измеряющего давление воздуха в манжете. Сфигмоманометр (тонометр) оснащается также либо стетоскопом, либо электронным устройством, регистрирующим пульсации воздуха в манжете. Тонометр с электронным устройством (рис. 4.37) автоматически регистрирует показания артериального давления и выводит их на электронное табло.

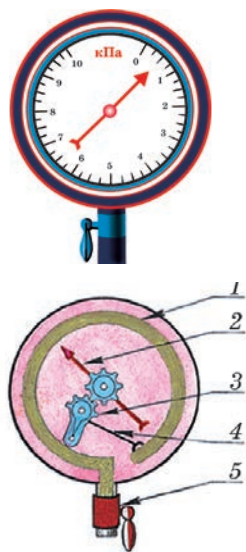


Рис. 4.35.
Трубчатый
металлический
манометр



Рис. 4.36.
Трубчатая пищалка



Рис. 4.37. Медицинский
манометр

Повышенное или пониженное кровяное давление человека свидетельствует о заболевании, из-за которого происходит изменение давления крови. Верхнее давление здорового человека 110–120 мм рт. ст., а нижнее – 70–80 мм рт. ст.

3. Одним из приборов, основанных на действии атмосферного давления, является **насос**. Используя некоторые виды насосов, можно вызвать направленное движение жидкостей и газов.

Вам хорошо известен принцип инъекций. Когда оттягивают поршень шприца назад (рис. 4.38, а), давление внутри цилиндра уменьшается, и под действием атмосферного давления лекарство входит в него. При перемещении поршня вниз жидкость под поршнем сжимается и выталкивается под большим давлением через узкое отверстие (рис. 4.38, б).

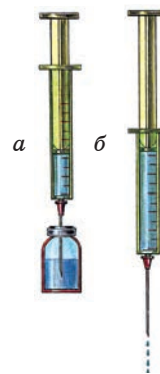


Рис. 4.38. Шприцы

Принцип действия водяного поршневого насоса (рис. 4.39) также основан на действии атмосферного давления. Водяной насос состоит из цилиндра 1, внутри которого может передвигаться вверх и вниз плотно прилегающий к стенкам поршень 2. В нижней части цилиндра и на самом поршне установлены клапаны 3. При движении поршня вверх вода из колодца под действием атмосферного давления входит в трубку 4, поднимает нижний клапан и движется за поршнем. При движении поршня вниз вода, находящаяся под поршнем, давит на нижний клапан, и он закрывается. Под давлением воды открывается клапан внутри поршня. При следующем движении поршня вверх вместе с ним поднимается и находящаяся над ним вода, которая через трубку 5 выливается наружу. Одновременно по трубке 4 поднимается новая порция воды, которая при опускании поршня окажется над ним и т. д.

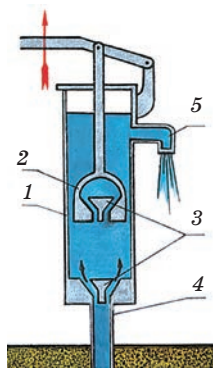


Рис. 4.39. Водяной насос

Наиболее широко распространенными являются насосы, предназначенные для накачивания автомобильных и велосипедных камер, мячей (рис. 4.40, а).

При поднятии поршня 3 вверх (рис. 4. 40, б) воздух через отверстие 2 входит в корпус 1 насоса. При опускании поршня отверстие перекрывается,

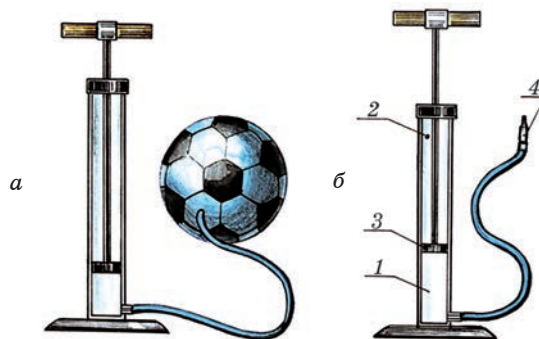


Рис. 4.40. Воздушный насос

и воздух, сжавшись, проходит через ниппель 4 в камеру, мяч и т. д. Ниппель – металлическая трубка, концы которой снабжены резьбой. Он расположен на конце шланга или вмонтирован в камеру мяча (колеса). На него надевается тонкая резиновая трубка. Когда из насоса поступает сжатый воздух, резиновая трубка, охватывающая клапан, раздувается и пропускает его в камеру. Тогда давление внутри камеры становится гораздо больше, чем в цилиндре насоса, и резиновая трубка закрывает клапан, предотвращая выход воздуха из камеры. При наполненном воздухом цилиндре насоса весь процесс может повториться.



Вопросы

1. Как называют приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного?
2. На каком законе основан принцип действия манометра?
3. Опишите устройство открытого жидкостного манометра. По какому принципу он работает?
4. Как устроен металлический манометр?
5. Как устроен и работает водяной насос?
6. На каком законе основан принцип действия шприца?
7. Как устроен простейший насос, предназначенный для накачивания велосипедных камер, мячей?



Упражнения 4.5

1. Открытый жидкостный манометр соединен с сосудами (рис. 4.41). В каком из этих сосудов давление равно атмосферному? больше атмосферного? меньше атмосферного?

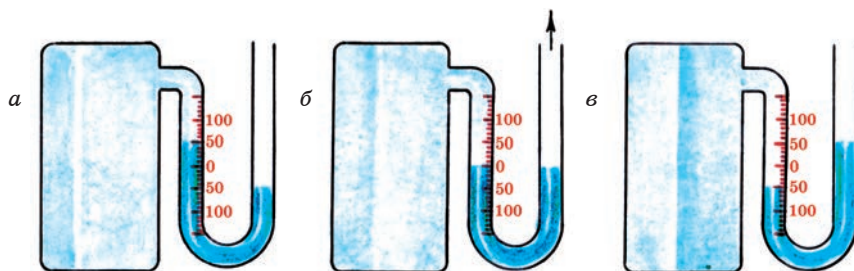


Рис. 4.41

2. Перенесите схему (рис. 4.42, а) в тетрадь и дополните ее. Как изменится уровень жидкости в манометре, если соединить его с сосудом, в котором давление воздуха ниже атмосферного?
3. Какое давление показывает манометр (рис. 4.42, б)? Чему равна цена деления шкалы манометра?
4. Почему поршень насоса плотно прилегает к стенкам цилиндра?
5. Действуют ли водяные насосы в безвоздушном пространстве?

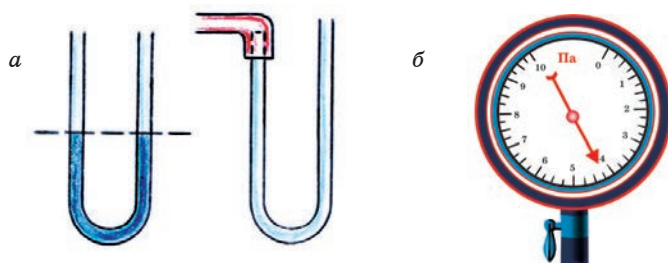


Рис. 4.42

6. Атмосферное давление поднимает ртуть на высоту около 760 мм, а вода легче ртути в 13,6 раза. На какую высоту можно поднять воду из водоемов с помощью всасывающих насосов?
7. На какую высоту можно поднять спирт (нефть) с помощью всасывающих насосов с воздушной камерой?

§ 29

ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА. ЗАКОН АРХИМЕДА

1. Мы в повседневной жизни часто наблюдаем плавающие в воде предметы. Огромные корабли бороздят воды Мирового океана (рис. 4.43). Спрашивается: почему такие тела не тонут в воде? Какая сила удерживает их в жидкости? Ответы на эти вопросы нашел древнегреческий ученый Архимед.



Рис. 4.43. Морское судно

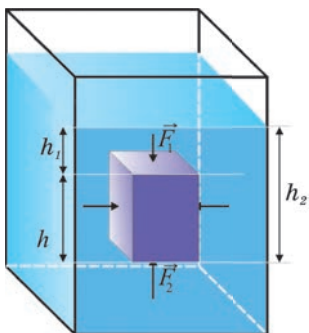


Рис. 4.44. Силы, действующие на погруженное в жидкость тело

Теперь и мы постараемся определить эту силу, выталкивающую вверх погруженное в жидкость тело. Для этого рассмотрим погруженное в жидкость тело, которое имеет форму прямоугольного параллелепипеда высотой h , площадью основания S (рис. 4.44). Как мы уже знаем, жидкость распространяет силы давления на все стороны. Силы, действующие на боковые грани тела со стороны жидкости, равны и уравнивают друг друга. Под действием этих сил тело только сжимается. Но сила давления нижнего слоя жидкости больше, чем сила давления ее верхнего слоя. Поэтому на погруженное в жидкость тело действует **выталкивающая сила**, направленная вверх. Эту силу можно определить теоретическими расчетами, а также путем проведения опыта.

2. Определим с помощью теоретических расчетов выталкивающую силу, действующую на погруженный параллелепипед.

На верхнюю грань параллелепипеда действует направленная вниз сила давления \vec{F}_1 столба жидкости высотой h_1 . Модуль этой силы определяется на основе формулы плотности ($p = F/S$):

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{ж}} g h_1 S,$$

где $p_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1$ – давление столба жидкости высотой h_1 , $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости.

На нижнюю грань параллелепипеда действует направленная вверх сила давления \vec{F}_2 , так как жидкость распространяет давление на все стороны. Модуль этой силы определяется по формуле:

$$F_2 = p_2 S = \rho_{\text{ж}} g h_2 S,$$

где $p_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2$ – давление столба жидкости высотой h_2 .

Разность ($\vec{F}_2 - \vec{F}_1$), т. е. равнодействующая этих двух сил, направлена вертикально вверх и представляет собой **выталкивающую силу**. Модуль этой силы равен $F_{\text{выт}} = F_2 - F_1 = \rho_{\text{ж}} g (h_2 - h_1) S$. Если учесть, что $h = h_2 - h_1$ – высота параллелепипеда, тогда:

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g h S, \text{ или } F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}},$$

где $V_{\text{т}} = Sh$ – объем погруженного в жидкость тела.

Ясно, что какой объем занимает погруженная часть тела, такой же объем жидкости тело вытесняет, т. е. $V_{\text{т}} = V_{\text{в.ж.}}$, где $V_{\text{т}}$ – объем погруженной части тела, $V_{\text{в.ж.}}$ – объем вытесненной жидкости. Следовательно:

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{т}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{в.ж.}},$$

где: $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ – постоянная для Земли величина, называемая ускорением свободного падения, $V_{\text{в.ж.}}$ – объем вытесненной жидкости.

В последней формуле ($F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{ж}}$) произведение $\rho_{\text{ж}}$ на $V_{\text{в.ж.}}$ равно массе вытесненной жидкости: $m = \rho_{\text{ж}} \cdot V_{\text{в.ж.}}$.

В свою очередь, произведение массы m на g , определяет вес вытесненной жидкости: $P_{\text{в.ж.}} = m \cdot g$.

Таким образом, *модуль выталкивающей силы, действующей на погруженное в жидкость тело, оказывается равным модулю собственного веса вытесненной жидкости, ($F_{\text{выт}} = P_{\text{в.ж.}}$):*

$$F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} \cdot g \cdot V_{\text{в.ж.}} = m_{\text{в.ж.}} \cdot g = P_{\text{в.ж.}}$$

3. Значение выталкивающей силы мы вывели теоретически. Теперь определим выталкивающую силу на опыте.

К крючку динамометра подвесим тело цилиндрической формы и сосуд, в который это тело помещается полностью (рис. 4.45, а). Затем, до погружения тела в воду, определим показание динамометра.

После этого под тело подставим отливной сосуд, наполненный водой до уровня носика, и мензурку для сбора воды. Теперь будем постепенно погружать тело в воду. При этом указатель пружины динамометра начинает подниматься вверх. По мере погружения тело вытесняет воду, которая из отливного сосуда выливается в мензурку. Когда тело целиком погрузится в воду, динамометр покажет, насколько уменьшился вес тела в воде (рис. 4.45, б).

Если в сосуд, подвешенный к пружине динамометра, вылить вытесненную телом воду, то указатель пружины возвратится к своему исходному положению (рис. 4.45, в и а). Отсюда видим, что *выталкивающая сила, действующая на погруженное в жидкость тело, равна весу вытесненной этим телом жидкости:*

$$F_{\text{выт}} = P_{\text{в.ж.}} = mg,$$

где m – масса вытесненной жидкости, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$.

Таким образом, проведенный опыт подтвердил правильность теоретического расчета выталкивающей силы.

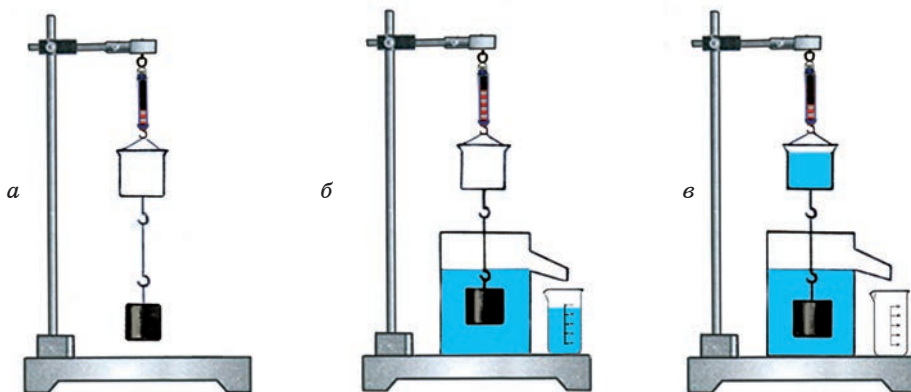


Рис. 4.45. Проверка закона Архимеда

На основе экспериментальных исследований аналогичный вывод сделал и Архимед. Поэтому выталкивающую силу часто называют **силой Архимеда**, ($F_{\text{выт}} = F_A$), а экспериментально найденную закономерность именуют **законом Архимеда**.

Теперь сформулируем закон Архимеда: *на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу вытесненной этим телом жидкости*.

Итак, выталкивающая сила, т. е. сила Архимеда определяется по формуле:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{в.ж.}}, \text{ или } F_A = \rho_{\text{ж}} g V_T.$$

Обратите внимание, что архимедова сила зависит от плотности жидкости, но не зависит от плотности тела, глубины его погружения, от формы предмета при равном объеме.

В формулировке закона Архимеда использовали слово «вес». Вспомним, что весом называется сила, с которой тело действует на опору. Когда опора неподвижна относительно Земли, вес тела и сила тяжести, действующая на тело, численно равны.

Здесь мы использовали и будем использовать понятие «вес» для случаев, когда вес и сила тяжести численно равны друг другу.

4. На тело, находящееся в воздухе или в любом газе, также действует выталкивающая сила. Если бы мы проделали опыт, погрузив какое-либо тело в газ, то увидели бы, что сила, выталкивающая тело из газа, также равна весу вытесненного этим телом газа. Поскольку эта сила намного меньше силы тяжести, действующей на тело, то ее трудно заметить. Однако под действием этой выталкивающей силы поднимаются вверх воздушные шары и дирижабли. Шар с гелием поднимается на наибольшую высоту из-за того, что плотность гелия меньше плотности других газов, входящих в состав воздуха.

5. Условия плавания тел. Возможны следующие три случая (рис. 4.46) расположения тел в жидкости.

а) Если тело, погрузившись в жидкость, будет плавать внутри жидкости (рис. 4.46, а), то сила тяжести, действующая на него, будет равна

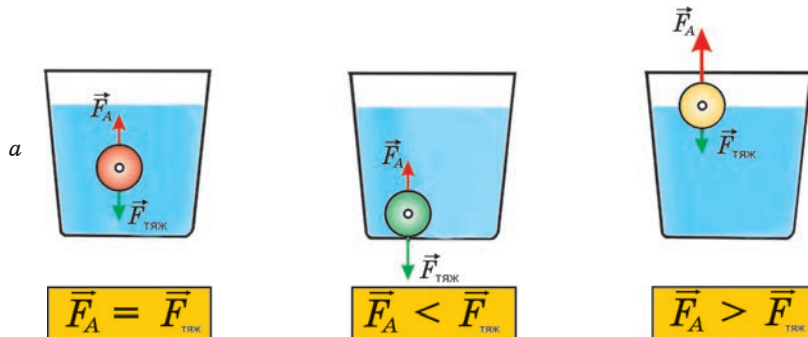


Рис. 4.46. Три случая соотношения силы тяжести и архимедовой силы

архимедовой силе, т. е. $F_A = F_{\text{тяж}}$, или $\rho_t g V_t = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{в.ж.}}$. Учитывая, что объем вытесненной жидкости равен объему тела ($V_{\text{в.ж.}} = V_t$), получим $\rho_t = \rho_{\text{ж}}$. Итак, при равенстве плотностей тела и жидкости тело будет плавать внутри жидкости. Условие плавания тела внутри жидкости определяют следующие равенства:

$$\rho_t = \rho_{\text{ж}}; F_{\text{тяж}} = F_A.$$

б) Если сила тяжести, действующая на тело, больше архимедовой силы, то тело будет опускаться на дно (рис. 4.46, б). Условие, при котором тело опускается на дно жидкости, определяют следующие неравенства:

$$\rho_t > \rho_{\text{ж}}; F_{\text{тяж}} > F_A.$$

в) Если сила тяжести меньше архимедовой силы, то тело будет плавать на поверхности жидкости (рис. 4.46, в). Условие плавания тела на поверхности жидкости определяют следующие неравенства:

$$\rho_t < \rho_{\text{ж}}; F_{\text{тяж}} < F_A.$$

Итак, условия плавания тел таковы: если плотность тела больше плотности жидкости, то тело в ней тонет, если же плотность тела меньше плотности жидкости, то тело в ней всплывает. При равенстве плотностей тела и жидкости тело плавает внутри жидкости.

Приведем примеры для применения условия плавания тел и закона Архимеда.

Пример 1. Плотность льда – 900 кг/м³, а плотность воды – 1000 кг/м³. Каков объем погруженной в воду части льда? Из условия задачи видно, что $9/10 = 900/1000$ части льда находится под водой. Следовательно, объем подводной части льда равен: $V_{\text{п.ч.}} = \frac{900}{1000} V_t = 0,9 V_t$. Таким образом, (9/10) объема льда будет находиться под водой. Это можно проверить, взяв небольшой кусочек льда из холодильника и положив его в стакан с водой.

Пример 2. Средняя плотность тела человека 1036 кг/м³. Масса тела человека 50 кг. Какова сила тяжести, действующая на человека, и в какой воде легче ему плавать?

Сила тяжести, действующая на человека:

$$F_{\text{тяж}} = mg = 50 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} = 490 \text{ Н}.$$

Объем тела человека:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{50 \text{ кг}}{1036 \text{ кг/м}^3} = 0,048 \text{ м}^3.$$

Архимедова сила, действующая на человека в пресной воде, равна:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} \cdot V_t \cdot g = 1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,048 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} = 470 \text{ Н}.$$

Эта величина всего на 20 Н меньше силы тяжести. Однако такие вычисления верны в том случае, когда тело человека полностью погружено в воду. Только в этом случае он может держаться на плаву.

Плотность морской воды близка к средней плотности человеческого тела, поэтому плавать в морской воде легче, чем в пресной.



Из истории развития науки и техники



Архимед
(ок. 287–212 до н. э.)

Архимед – древнегреческий ученый, физик, математик, механик и изобретатель. Начальное образование он получил у своего отца Фидия. Более глубокие знания Архимед обрел в Египетской Александрии – научном и культурном центре античного мира. В то время Александрийская библиотека была самой крупной, в ней были собраны около 700 тыс. рукописей.

После получения солидного образования в Александрии Архимед вернулся в свой родной город Сиракузы на острове Сицилии. Ученый создал в порту Сиракуз целый комплекс блочно-рычажных механизмов, которые значительно облегчили и ускорили процесс транспортировки тяжелых грузов. Он автор более 40 изобретений и многочисленных открытий в области геометрии, механики и физики. Но своим самым главным открытием он считал нахождение формулы вычисления объема сферы и ее поверхности. До наших дней дошло восемь его трудов, один из которых называется «О плавании тел».

Когда ему исполнилось 75 лет, римляне осадили его родной город. Архимед принимал активное участие в обороне, применяя на военной практике свои изобретения. Им были созданы мощные камнеметательные машины. Краны Архимеда поднимали и на высоте переворачивали вражеские корабли. После длительной осады города римский военачальник понял, что воевать против «геометра» (как звали Архимеда) бесполезно. Однако в результате предательства всё же Сиракузы были захвачены римлянами. Во время схватки в самом городе Архимед был убит.

Согласно легенде, царь Сиракуз Гиерон поручил Архимеду определить, из чистого ли золота сделана его корона или ювелир изготовил ее из сплава золота и серебра. Много дней Архимеда мучила эта задача, связанная с определением объема царской короны. Однажды он погрузился в наполненную до краев ванну и обратил внимание на выливающуюся из нее воду. Тут его внезапно осенила мысль, ставшая решением этой головоломки. По легенде, выскочив из ванны, взволнованный своим открытием, Архимед побежал по улицам Сиракуз, восклицая: «Эврика – эврика!» («Нашел – нашел!»).



Вопросы

1. Почему жидкость давит на погруженное тело снизу вверх?
2. Как можно теоретически вычислить выталкивающую силу?
3. Какими опытами можно определить выталкивающую силу?
4. Почему выталкивающая сила названа силой Архимеда? Какая формула ее выражает?
5. От каких величин зависит архимедова сила? Как формулируется закон Архимеда?

6. Как можно вычислить архимедову силу, действующую на тело, полностью погруженное в жидкость?
7. Сформулируйте все три условия плавания тел. Приведите примеры.



Упражнения 4.6

1. В воду погружено тело объемом 100 см^3 . Определите значение выталкивающей силы, действующей на это тело. Плотность воды 1000 кг/м^3 .
2. В керосин погружен кусок железа массой 500 г . Определите выталкивающую силу, если плотность железа – 7900 кг/м^3 , плотность керосина – 820 кг/м^3 .
3. Какую силу надо приложить, чтобы поднять под водой камень массой 600 кг , объемом $0,23 \text{ м}^3$?
4. Тело длиной 20 см , площадью поперечного сечения 4 см^2 и плотностью 1250 кг/м^3 подвешено к пружине и погружено в жидкость плотностью 800 кг/м^3 . Определите вес тела в жидкости. Как изменится показание динамометра, если в жидкость погружена только половина тела?
5. Вес алюминиевого изделия в воздухе – 15 Н , а в воде – $9,5 \text{ Н}$. Определите плотность алюминия.
6. Вес изделия в воздухе – 5 Н , а в воде – $4,5 \text{ Н}$. Сделано ли изделие из чистого серебра или в нем присутствует примесь меди?
7. Предположим, что вес золотой короны царя Гиерона в воздухе – 20 Н , а в воде – $18,75 \text{ Н}$. Какова плотность вещества короны? Предполагая, что к золоту добавлено только серебро, определите, сколько золота и сколько серебра присутствует в составе короны. Средняя плотность золота $2 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$, серебра – 10^4 кг/м^3 .
8. Если камень держать в воде, затрачивая силу 30 Н , какова его масса в воздухе? Плотность камня 2500 кг/м^3 .
9. В лабораторном сосуде с водой плавает большой кусок льда. Объясните, что происходит с уровнем воды в сосуде по мере того, как лед тает.
10. Пробка плавает в воде. Когда на пробку положили небольшой кусок металла, она, глубжегрузившись в воду, продолжала плавать. Объясните.
11. Будет ли плавать на поверхности воды или утонет тело массой 100 кг и объемом $0,2 \text{ м}^3$?
12. Будет ли кусок льда плавать в бензине, керосине, глицерине?
13. Медный шар с внутренней полостью плавает в равновесии в воде. Если объем полости $V = 17,75 \text{ см}^3$, каков объем шара?



Практические задания

1. Возьмите два стеклянных сосуда, в одном из которых находится чистая вода, во втором – соленая. В каждый сосуд опустите по очереди одну и ту же картофелину. Что при этом произошло? Объясните результат опыта.
2. Возьмите миску с водой, скрепку, карандаш, монету, пробку, картофелину, соль, стакан. Осторожно опустите в воду все перечисленные предметы. Затем в стакане с водой растворите 2 столовые ложки соли. Опустите в раствор те предметы, которые утонули в миске. Опишите наблюдения. Выясните условия плавания тел в зависимости от плотности жидкости и тела. Сделайте вывод.



Теоретическое исследование

Чем глубже погружение в океан, тем темнее и холоднее становится (см. с. 3 форзаца), тем сильнее давление. Тела обитателей океанских глубин приспособлены к колоссальному давлению. Поэтому глубоководные животные при падении давления у поверхности обычно погибают.



Рис. 4.47. Субмарина «Синкай-6500»

Для изучения океанских глубин и ее обитателей используются миниатюрные субмарины, снабженные мощными прожекторами и механическими «руками» для сбора образцов. Американский аппарат «Алвин» погружается почти на 4575 м, а российский «Мир» – на 6100 м. Японская субмарина «Синкай-6500» (рис. 4.47) – рекордсмен по глубине погружения в океан (6527 м). Среди огромных океанских животных рекордная глубина погружения принадлежит кашалотам, которые в поисках крупных кальмаров ныряют на 3 км. С помощью

теоретических расчетов определите, какое давление на указанных глубинах испытывает каждая из субмарин и кашалот. Исходя из условий плавания тел, поразмышляйте и обсудите между собой, как они могут обеспечить себе такое погружение.

Лабораторная работа № 6 Изучение закона Архимеда

Задание 1. Определение выталкивающей силы, действующей на погруженное в воду тело.

Оборудование: сосуд с водой, тела с разными массами, динамометр, мензурка, нитки.

Ход работы.

1. С помощью мензурки определите объем тела V_T .
2. Зная объем тела V_T и плотность воды ρ_v , определите вес вытесненной воды.
3. Тело подвесьте к крючку динамометра с помощью нитяной петли и определите силу тяжести $F_{\text{тяж}}$, действующую на него (вес тела в воздухе).
4. Погрузите тело в воду, определите вес тела в воде и вычислите выталкивающую силу $F_{\text{выт}}$, действующую при погружении тела в воду.
5. Равен ли вес воды, вытесненной телом, выталкивающей силе? Проверьте.
6. Повторите опыт с другими телами.
7. Результаты измерений и расчетов запишите в таблицу.

Номер опыта	Объем тела $V_T, \text{ м}^3$	Вес вытесненной воды $P_0, \text{ Н}$	Вес тела в воздухе $P, \text{ Н}$	Вес тела в воде $P_1, \text{ Н}$	Выталкивающая сила $F_{\text{выт}}, \text{ Н}$
1.					
2.					
3.					

8. Оцените, с какой точностью выполняется закон Архимеда в этом опыте.

Задание 2. Проверка зависимости выталкивающей силы от объема погруженного в жидкость тела.

Приборы и материалы: школьные весы (без чашек); два тела, имеющих разные объемы, но одинаковые массы (по 100 г); два сосуда с водой.

Ход работы.

1. Закрепите тела на плечах весов и уравновесьте весы (рис. 4.48).

2. Нарушится ли равновесие весов, если одновременно погрузить оба тела в сосуды с водой? Ответьте на вопрос.

3. Проверьте ответ на опыте.

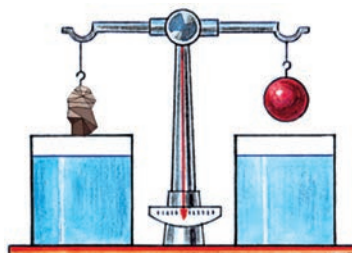


Рис. 4.48

Задание 3. Проверка зависимости выталкивающей силы $F_{\text{выт}}$ от плотности жидкости $\rho_{\text{ж}}$.

Приборы и материалы: школьные весы (без чашек); два груза, масса и объем которых одинаковы; сосуды с водой и любой жидкостью, кроме воды.

Ход работы.

1. Установите грузы на плечах весов и уравновесьте весы.

2. Нарушится ли равновесие весов, если одно из тел погрузить в сосуд с водой, а другое – в сосуд с другой жидкостью? Ответьте на вопрос.

3. Проверьте ответ на опыте.

Сделайте выводы.

Лабораторная работа № 7

Определение условий плавания тел в жидкости

Задание. Определение условий, при которых тело плавает, опускается на дно или всплывает на поверхность воды.

Приборы и материалы: динамометр, сосуд с водой, мензурка, три одинаковые пробирки с песком разной массы, сосуд с жидкостью известной плотности (например, водный раствор соли).

Ход работы.

1. С помощью динамометра определите силу тяжести, действующую на тело (рис. 4.49, а).

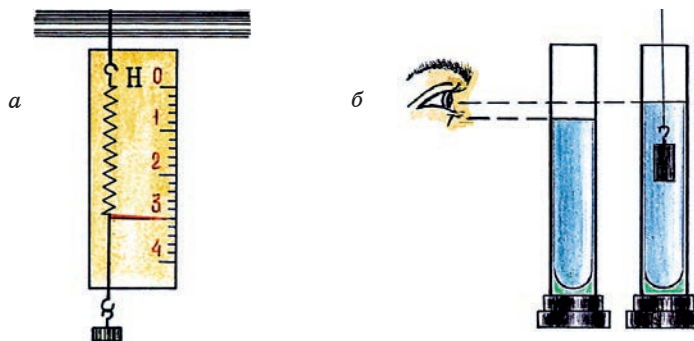


Рис. 4.49

2. Используя мензурку, измерьте объем тела V_t (рис. 4.49, б).
3. Вычислите выталкивающую силу (т. е. силу Архимеда F_A), действующую на тело при погружении его в жидкость: $F_{\text{выт}} = \rho_{\text{ж}} g V_t$.
4. Ответьте на вопрос задания, сравнивая силу тяжести $F_{\text{тяж}}$ и выталкивающую силу $F_{\text{выт}}$.
5. Проверьте правильность ответов, опустив тело в данную жидкость.
6. Заполните таблицу.

Номер опыта	Жидкость	$F_{\text{тяж}}, Н$	$V_t, м^3$	$F_A, Н$	Соотношение F_A и $F_{\text{тяж}}$	Опускается на дно, плавает или всплывает
1.						
2.						
3.						

Сделайте выводы.

Самое важное в главе 4

1. **Давление** – величина, характеризующая действие силы, приложенной к определенной поверхности.

Давление определяется отношением силы к площади, на которую в перпендикулярном направлении действует эта сила:

$$\text{давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}, \text{ или } p = \frac{F}{S}.$$

В Международной системе единиц (СИ) давление выражается в паскалях (Па) $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

2. Давление жидкости, на которую действует сила тяжести, не зависит от площади дна сосуда, а зависит только от высоты столба жидкости и ее плотности:

$$p = \rho gh.$$

3. В сообщающихся сосудах высоты столбов разнородных жидкостей обратно пропорциональны их плотностям:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

4. **Нормальное атмосферное давление** – атмосферное давление, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0°C .

Нормальное атмосферное давление равно 760 мм рт. ст.

760 мм рт. ст. = 10^5 Па.

Атмосферное давление изменяется в зависимости от высоты.

5. **Манометр** – прибор для измерения давления жидкости и газа.

6. **Закон Архимеда:** на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости в объеме погруженной части тела:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} g V_{\text{т}} = g m_{\text{ж}} = P_{\text{ж}}.$$



ГЛАВА

5

В данной главе рассматриваются важнейшие для понимания научного языка физики и техники основные понятия и законы: *механическая работа, мощность, энергия, кинетическая энергия, потенциальная энергия, потенциальная энергия тела в поле силы тяжести, потенциальная энергия деформированного тела (пружины), механическая энергия, закон сохранения механической энергии, момент силы, правило моментов, «золотое правило» механики, коэффициент полезного действия.*

§ 30

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА

1. В быту и физике часто используют понятие «работа». Например, можно сказать о работе отдельных людей, муравьев и пчел; о работе текущей воды, дующего ветра, падающих тел и атомных частиц. Приходится определять также работу, совершаемую электрическим или магнитным полем, космической ракетой, подводной лодкой, машинами и др. В разделе физики, называемого «механикой», в понятие «работа» вкладывает конкретный смысл. Например, если тело под действием постоянной силы перемещается, то говорят: оно совершает работу.

Таким образом, *работа силы, совершаемая при перемещении тела, называется механической работой.*

Для того чтобы тело двигалось, на него воздействуют определенной силой. Чем больше величина действующей силы F , тем больше совершается работы. Работа зависит и от расстояния, на которое перемещают тело. На большее расстояние затрачивается большая работа.

Следовательно, работа изменяется в зависимости от приложенной силы F и пройденного пути s . Экспериментально установлено, что **механическая работа прямо пропорциональна силе и пройденному пути:**

$$\text{Работа} = \text{Сила} \cdot \text{Пройденный путь}, \text{ или } A = F \cdot s,$$

где A – работа, F – сила, s – пройденный путь.

По этой формуле определяют работу силы, действующей в направлении движения тела. Работа силы, действующей под углом к направлению движения, рассматривается в старших классах.

2. В Международной системе единиц (СИ) за единицу работы принимают работу, совершаемую силой в 1 ньютон, при перемещении тела на

1 метр. Такую единицу работы называют *джоулем (Дж)* в честь английского ученого Джеймса Джоуля (1818–1889).

Используя вышеприведенные формулы, видим, что 1 Дж равен произведению силы в 1 Н и пути в 1 м:

$$1 \text{ джоуль} = 1 \text{ ньютон} \cdot 1 \text{ метр, или сокращенно} \\ 1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Существуют кратные и дольные единицы измерения работы:

- 1 килоджоуль (кДж) = 1000 Дж = 10^3 Дж;
- 1 мегаджоуль (МДж) = 1 000 000 Дж = 10^6 Дж;
- 1 миллиджоуль (мДж) = 0,001 Дж = 10^{-3} Дж;
- 1 микроджоуль (мкДж) = 0,000 001 Дж = 10^{-6} Дж.

Пример решения задачи

Задача. Гранит объемом $0,5 \text{ м}^3$ был равномерно поднят на высоту 20 м. Вычислите затраченную при этом работу. Плотность гранита 2500 кг/м^3 .

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$V = 0,5 \text{ м}^3$ $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ $h = 20 \text{ м}$	$0,5 \text{ м}^3$ 2500 кг/м^3 20 м	Затраченная работа определяется по формуле: $A = F \cdot s,$ где F – сила, с помощью которой равномерно поднимают гранит, $s = h$. Модули противоположно направленных силы тяги F и силы тяжести $F_T = gt$ равны ($F = F_T$); m – масса гранита, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$. Зная плотность и объем гранита, можно определить его массу: $m = \rho V$.
$A = ?$		

Решение.

$$A = F \cdot h = mgh = \rho Vgh = 2500 \text{ кг/м}^3 \cdot 0,5 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 20 \text{ м} = 245000 \text{ Дж} = 245 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 245 \text{ кДж}$.



Вопросы

1. Что называют *механической работой* и когда она совершается?
2. Выполняется ли механическая работа, если на тело действует сила, но оно не перемещается? Совершается ли механическая работа, если тело движется без воздействия силы?
3. По какой формуле вычисляют совершенную механическую работу?
4. В каких единицах выражается работа в Международной системе единиц?
5. Шар № 1 неподвижен, шар № 2 движется по гладкому стеклу по инерции, шар № 3 перемещается под действием силы F . В каком случае совершается механическая работа? Почему?

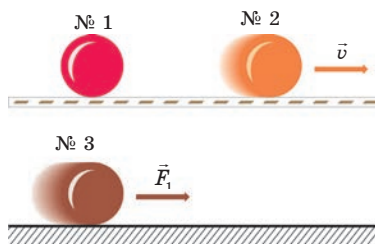


Рис. 5.1





6. Какую силу приходится преодолевать, совершая работу при равномерном подъеме ящика? при равномерном перемещении этого ящика вдоль горизонтальной поверхности? Какая из этих сил меньше?



Упражнения 5.1

1. Машина равномерно движется со скоростью 72 км/ч. Какую работу совершит она за 10 с, если сила тяги ее мотора 2000 Н?
2. На дне водоема глубиной 5 м лежит камень объемом 0,6 м³. Какая работа совершается для подъема камня на поверхность воды?
3. Лошадь со скоростью 0,8 м/с равномерно перемещает телегу. Какую работу совершает лошадь за 1 час, если сила тяги составляет 400 Н?

§ 31

МОЩНОСТЬ

1. Для выполнения одной и той же определенной работы разные двигатели тратят разное время. Например, в 1940–1950 гг. на карагандинских шахтах впервые в мире начали использовать угледобывающие комбайны, что позволило значительно повысить производительность труда. Это произошло потому, что работу, выполняемую одним рабочим в течение нескольких часов, угледобывающая машина выполняет за считанные минуты. Аналогично подъемный кран выполняет какую-то определенную работу гораздо быстрее рабочего, а трактор выполнит определенную работу быстрее лошади. Отсюда вытекает необходимость введения физического понятия, характеризующего быстроту выполнения работы.

Величину, характеризующую быстроту выполнения работы, называют мощностью.

Чтобы рассчитать мощность, надо разделить величину совершенной работы на время, в течение которого эта работа совершена:

$$\text{Мощность} = \frac{\text{Работа}}{\text{Время}}, \text{ или } N = \frac{A}{t},$$

где N – мощность, A – работа, t – время, за которое эта работа совершена.

Мощность равна работе, выполненной за единицу времени.

2. И в быту, и в технике часто используется понятие *средняя мощность*. Действительно, одну и ту же работу не только человек, но и разные двигатели выполняют в течение разного времени. Если бы за каждую секунду совершалась одинаковая работа, то мощность была бы постоянной. Но в действительности такое встречается редко. Поэтому в большинстве случаев приведенное выше отношение определяет среднюю мощность:

$$N_{\text{ср}} = \frac{A}{t}.$$

3. За единицу мощности принимают работу в 1 джоуль, совершаемую за 1 секунду. Эту единицу мощности называют **ваттом** (сокращенно Вт) в честь английского ученого **Джеймса Уатта** (1736–1819), придумавшего паровые машины. Таким образом,

$$1 \text{ ватт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ секунда}}, \quad \text{или} \quad 1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Наряду со сверхмощными двигателями в технике используются и механизмы с малой мощностью. Если мощность двигателя известна, то можно вычислить работу, совершаемую им в течение определенного промежутка времени. Действительно, из формулы $N = \frac{A}{t}$ можно найти работу:

$$A = N \cdot t.$$

Существуют кратные и дольные единицы мощности: **киловатт** (кВт), **мегаватт** (МВт), **милливатт** (мВт), **микроватт** (мкВт).

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт} = 10^3 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1000 \ 000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мВт} = 0,001 \text{ Вт} = 10^{-3} \text{ Вт};$$

$$1 \text{ мкВт} = 0,000 \ 001 \text{ Вт} = 10^{-6} \text{ Вт}.$$

В качестве примера приведем среднюю мощность человека и некоторых двигателей:

мощность человека при нормальных условиях работы – 70–80 Вт;

мощность автомобиля «Волга» – 70–80 кВт;

мощность первого атомного ледокола – 55 тыс. кВт;

мощность космической ракеты «Восток» – 1,5 млн. кВт;

мощность космической ракеты «Энергия» – 125 млн. кВт.

Пример решения задачи

Задача. Какова мощность потока воды, падающего с высоты 25 м? Расход воды в каждую минуту 120 м³.

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$h = 25 \text{ м}$ $V = 120 \text{ м}^3$ $t = 1 \text{ мин}$ $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ $g = 9,8 \text{ Н/кг}$	25 м 120 м^3 60 с	Мощность потока: $N = \frac{A}{t}$. Работа потока: $A = F \cdot h$. Сила тяжести, действующая на поток: $F = mg$. Масса падающего потока за 1 мин: $m = \rho V$, где ρ – плотность воды.
$N - ?$		

Решение.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{F \cdot h}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{\rho Vgh}{t} = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 120 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 25 \text{ м}}{60 \text{ с}} = \frac{30 \ 000 \ 000 \text{ Вт}}{60 \text{ с}} = 500 \ 000 \text{ Вт} = 0,5 \text{ МВт}.$$

Ответ: 0,5 МВт.



Вопросы

1. Почему введено понятие «мощность»?
2. Что называют мощностью?
3. Как можно вычислить мощность?
4. Какова единица мощности в Международной системе единиц?



Упражнения 5.2



1. С водопада, высота которого 10 м, за 2 мин падает 50 м^3 воды. Какова мощность потока воды?
2. Какую работу совершает вентилятор за 10 мин, если его мощность равна 30 Вт?
3. Самолет, у которого сила тяги мотора $5 \cdot 10^4 \text{ Н}$, летит равномерно со скоростью 800 км/ч. Какую мощность он развивает? Используя условие этой задачи, выведите еще одну формулу для нахождения мощности.
4. Локомотив мощностью 600 Вт, двигаясь равномерно, за 20 с проходит 200 м. Какова его сила тяги?
5. Полезная мощность насоса 10 кВт. Какой объем воды выкачивает насос с глубины 18 км за 1 ч?



Практическое задание

Кран равномерно поднимает груз массой 3 т на высоту 25 м за 1 мин. Какова мощность крана? Трое рабочих поднимают этот груз на ту же высоту за 8 ч. Сравните мощность крана с мощностью каждого рабочего.

§ 32

МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ. КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ

1. В обществе часто поднимаются проблемы, связанные с органическим топливом (каменный уголь, нефть, газ, торф, дрова и т. д.). Интенсивное уменьшение запасов органического топлива в недрах Земли (рис. 5.2, а) тревожит человечество, поскольку энергия является источником жизни на Земле. А 80% энергии, вырабатываемой на Земле, получают из органического топлива. К сожалению, запасы ископаемого топлива в недрах Земли быстро истощаются. На гистограмме (рис. 5.2, б) показано, на сколько лет хватит разведанных мировых запасов горючих ископаемых. Ни один механизм не будет действовать при отсутствии энергии. Поэтому ученые находятся в постоянном поиске новых источников энергии солнца, ветра, воды, атома. Всемирная выставка «Экспо-17», организованная в Астане, как раз и посвящена поиску и эффективному использованию альтернативных видов энергии. Итак, что же такое энергия?

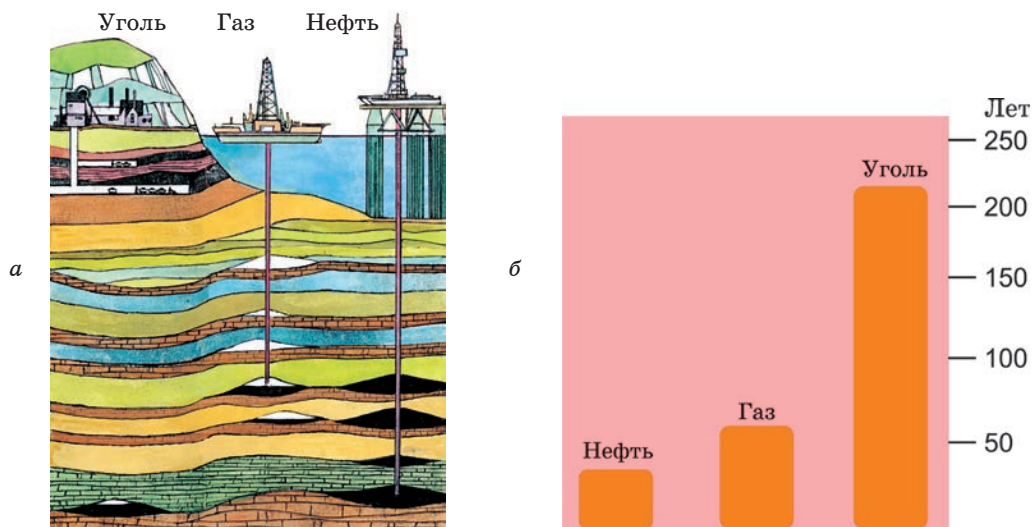


Рис. 5.2. Органическое топливо в недрах земли (уголь, газ, нефть) (а), гистограмма, показывающая, на сколько лет хватит разведанных мировых запасов топлива (б)

2. Понятие «энергия» непосредственно связано с понятиями «работа» и «движение». *Только тела, находящиеся в движении, обладают способностью совершать работу.*

Сжатая пружина (рис. 5.3, а), распрямляясь, приводит в движение другое тело и совершает работу. Значит, *сжатая пружина способна совершать работу.*

Водные потоки, снежные лавины, спускаясь с вершин гор, также совершают работу, унося с собой все то, что находится на их пути. Значит, и лавины, и потоки обладают *способностью совершать работу* (рис. 5.3, б).

Если тело способно совершать работу, то говорят, что оно обладает энергией. Например, энергия сжатой пружины равна работе, затраченной на ее сжатие. Таким образом, между понятиями «работа» и «энергия» существу-

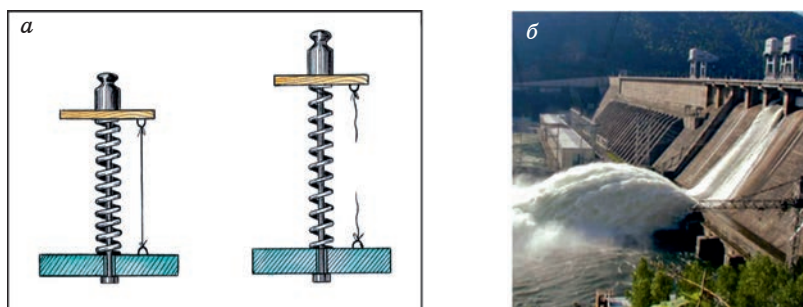


Рис. 5.3. Сжатая пружина способна совершить работу (а); Бухарминская гидроэлектростанция в Восточном Казахстане (б)

ет *прямая связь*. Эта связь как раз и определяет физический смысл энергии. Исходя из этой связи, энергии можно дать следующее определение:

Энергия является мерой способности тела совершать работу.

Из этого определения видно, что единицы измерения энергии и работы одни и те же, т. е. обе величины измеряются в *джоулях*. Согласно выражению $A = N \cdot t$ имеем:

1 джоуль = 1 ватт · 1 секунда, или 1 Дж = 1 Вт · с.

В быту в качестве единицы измерения энергии часто используют *киловатт · час* (кВт · ч).

1 киловатт · час (кВт · ч) = 3 600 000 Вт · с = 3,6 · 10⁶ Дж.

3. В механике различают два вида энергии: одна из них *кинетическая энергия*, другая – *потенциальная энергия*.

И кинетическую, и потенциальную, а также их суммарную энергию относят к *механической энергии*.

Физическая величина, характеризующая движение тел и их взаимодействие, называется механической энергией.

Механическая энергия в учебнике обозначена буквой E , а кинетическая и потенциальная энергии соответственно обозначены буквами E_k и E_n .

4. *Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется кинетической энергией* (греч. *кинетикос* – «движение»). Работа движущегося тела, как это было установлено на опыте, зависит от его скорости v и массы m . Действительно, несмотря на одинаковую скорость, работа, совершаемая ружейной пулей и пушечным снарядом, разная, так как масса снаряда гораздо больше массы пули. Точно так же тела, имеющие одинаковую массу, но разную скорость, совершают разную работу.

Учитывая, что энергия является мерой работоспособности тела, приходим к выводу, что и *кинетическая энергия, как и работа, изменяется в зависимости от массы и скорости тел*. Эта зависимость, установленная опытным путем, формулируется следующим образом: **кинетическая энергия тела прямо пропорциональна его массе и квадрату скорости:**

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

где m – масса тела; v – его скорость.

Все тела, находящиеся в движении, обладают кинетической энергией. Например, текущая вода и ветер движутся с определенной скоростью. Следовательно, они обладают кинетической энергией. Возможности использования кинетической энергии ветра в Казахстане огромны. С помощью специальных установок и двигателей можно использовать энергию бушующего ветра и урагана.

5. Энергия тела всегда относительна, поскольку величина энергии изменяется в зависимости от выбора системы отсчета. Например, рассмотрим кинетическую энергию людей, летящих на самолете, относительно двух систем отсчета: относительно самолета и относительно Земли. Поскольку скорость людей относительно самолета равна нулю, их кинетическая энергия относительно самолета тоже равна

нулю. Скорость людей относительно Земли равна скорости самолета. Следовательно, величина кинетической энергии людей в самолете относительно Земли достаточно велика. Таким образом, энергия рассматриваемого тела относительно других тел может принимать различные значения.

6. Для характеристики различных энергетических состояний тел в физике введено такое понятие, как *уровни энергии*. Каждому уровню энергии соответствуют конкретные ее значения: E_1 , E_2 , E_3 и т. д. Абсолютное значение их разности, например $|E_2 - E_1| = \Delta E$, называется *изменением энергии*.

Изменение энергии имеет конкретный физический смысл.

Теперь, зная изменение энергии, связь между работой и энергией, можно дополнить следующей формулировкой:

изменение механической энергии тела равно совершаемой работе: $A = E_2 - E_1 = \Delta E$, где греческая буква Δ (читается «дельта») означает разность энергии тела в двух различных его состояниях.

Энергия тела изменяется при его взаимодействии с другими телами. А взаимодействие тел мы характеризовали понятием силы. Следовательно, работа силы характеризует изменение энергии. Поэтому определение, данное выше, можно сформулировать и по-другому: *работа силы является мерой изменения механической энергии*.

Примеры решения задач

На рис. 5.4, *а* показан штурмовик «Ил-2», на котором во время Второй мировой войны летал командир воздушного полка дважды Герой Советского Союза Талгат Бигельдинов. На рис. 5.4, *б* и 5.4, *в* показаны современные сверхзвуковые истребители «Су-27» и «МиГ-15».

Задача. Если собственные массы летчиков равны $m_1 = m_2 = 70$ кг, общая масса «Ил-2» $m_3 = 2$ т, общая масса «Су-27» $m_4 = 10$ т, а их соответствующие скорости составляют: $v_1 = 360$ км/ч и $v_2 = 3600$ км/ч, то: 1) каковы кинетические энергии летчиков относительно Земли и своего самолета? 2) кинетические энергии самолетов относительно Земли?



Рис. 5.4. Самолеты: *а* – «Ил-2»; *б* – «Су-27»; *в* – «МиГ-15»

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$m_1 = m_2 = 70 \text{ кг}$ $v_1 = 360 \text{ км/ч}$ $m_3 = 2 \text{ т}$ $v_2 = 3600 \text{ км/ч}$ $m_4 = 10 \text{ т}$	10^2 м/с $2 \cdot 10^3 \text{ кг}$ 10^3 м/с 10^4 кг	<p>Кинетическая энергия летчиков относительно Земли:</p> $E_{к1} = \frac{m_1 v_1^2}{2}; E_{к2} = \frac{m_2 v_2^2}{2}.$ <p>Кинетическая энергия летчиков относительно самолета:</p> $E'_{к1} = \frac{m_1 (v_1')^2}{2}; E'_{к2} = \frac{m_2 (v_2')^2}{2}.$ <p>Кинетические энергии самолетов относительно Земли:</p> $E_{к3} = \frac{m_3 v_1^2}{2}; E_{к4} = \frac{m_4 v_2^2}{2}.$
$E_{к1} - ? E_{к2} - ?$ $E'_{к1} - ? E'_{к2} - ?$ $E_{к3} - ? E_{к4} - ?$		

Решение.

$$E_{к1} = E = \frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{70 \text{ кг} \cdot (10^2 \text{ м/с})^2}{2} = 35 \cdot 10^4 \text{ Дж} = 350 \text{ кДж}.$$

$$E_{к2} = E = \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{70 \text{ кг} \cdot (10^3 \text{ м/с})^2}{2} = 35 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 35 \text{ МДж}.$$

$$E_{к3} = \frac{m_3 v_1^2}{2} = \frac{20 \cdot 10^2 \text{ кг} \cdot (10^2 \text{ м/с})^2}{2} = 10^7 \text{ Дж} = 10 \text{ МДж}.$$

$$E_{к4} = \frac{m_4 v_2^2}{2} = \frac{10^4 \text{ кг} \cdot (10^3 \text{ м/с})^2}{2} = 5 \cdot 10^9 \text{ Дж} = 5000 \text{ МДж}.$$

Скорости летчиков относительно их самолетов равны нулю ($v_1' = 0 \text{ м/с}$, $v_2' = 0 \text{ м/с}$), поэтому их кинетическая энергия относительно самолета также равна нулю:

$$E'_{к1} = \frac{m_1 (v_1')^2}{2} = 0; E'_{к2} = \frac{m_2 (v_2')^2}{2} = 0.$$

$$\text{Ответ: } E_{к1} = 350 \text{ кДж}; E_{к2} = 35 \text{ МДж}; E'_{к1} = E'_{к2} = 0. \\ E_{к3} = 10 \text{ МДж}; E_{к4} = 5000 \text{ МДж}.$$



Вопросы

1. На каких примерах можно показать, что работа и энергия связаны друг с другом?
2. В каком случае можно сказать, что тело обладает энергией?
3. Что называют *энергией*?
4. В каких единицах измеряют работу и энергию?
5. Какие виды энергии существуют? Какая энергия называется механической?
6. Какими величинами характеризуется кинетическая энергия тела? Какова формула расчета кинетической энергии?
7. Имеются ли возможности использования кинетической энергии тел (ветра, воды) в вашей местности?
8. В чем заключается физический смысл разности уровней энергии?





Упражнения 5.3

1. Реактивный самолет массой 50 т движется со скоростью 300 м/с относительно Земли. Найдите его кинетическую энергию.
2. Пуля массой 9 г вылетает из ствола винтовки со скоростью 800 м/с. Какова ее кинетическая энергия?
3. Под действием силы тяги, равной $6 \cdot 10^4$ Н, скорость автомобиля возросла с 2 м/с до 8 м/с. Масса автомобиля равна 8 т. Найдите изменение кинетической энергии автомобиля, работу силы тяги и перемещения. Трение не учитывать.
4. Масса грузового транспорта больше массы легкового автомобиля в 18 раз, но скорость грузового транспорта меньше скорости легкового автомобиля в 6 раз. Сравните их кинетические энергии.



Теоретическое исследование

1. Опишите превращения энергии, которые будут происходить при падении на пол резинового и пластилинового шаров. В чем различие между этими процессами?
2. Какими видами механической энергии обладает самолет, стоящий на взлетной полосе аэродрома? Какими энергиями он обладает при разбеге перед взлетом и в полете?

§ 33.

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

1. Потенциальной энергией называется энергия, которая определяется взаимным положением действующих друг на друга различных тел или частей одного и того же тела (лат. *потенция* – «сила, возможность»). Например, когда тело падает с высоты h , то его положение относительно Земли постоянно меняется. Значит, падающее тело относительно Земли обладает потенциальной энергией, а ее величина изменяется в зависимости от высоты h . Потенциальной энергией обладает также натянутая пружина. Ниже покажем, с помощью каких формул можно определить их потенциальные энергии.

2. Потенциальная энергия падающего тела. Рассмотрим свободно падающее под действием силы тяжести тело. Пусть тело, поднятое относительно Земли на высоту h_1 , падает из точки A_1 в точку A_2 (рис. 5.5). Найдем работу,

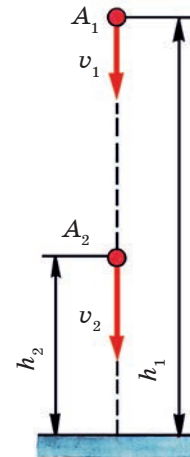


Рис. 5.5.
Свободно падающее тело

совершенную силой тяжести. Для этого воспользуемся известным нам выражением $A = Fs$.

Расстояние, пройденное телом, равно расстоянию между двумя точками A_1 и A_2 , т. е. $s = h_1 - h_2$. Сила, действующая на тело в направлении его движения, является силой притяжения Земли. Мы знаем, что эта сила называется силой тяжести и равна $F = gm$.

Таким образом, работа силы тяжести, совершаемая при падении тела, равна $A = F \cdot s = mg(h_1 - h_2)$. Раскрыв скобки, получим $A = mgh_1 - mgh_2$.

Отсюда видим, что работа силы тяжести равна разности величин вида mgh . Такой физической величиной, разность которой является работа, может быть только энергия. Действительно, выражение $A = mgh_1 - mgh_2$ похоже на разность $A = |E_2 - E_1| = |\Delta E|$, которая характеризует изменение энергии.

Стало быть, разность $mgh_1 - mgh_2$ тоже является разностью энергий. Кроме того, эта разность зависит от силы тяжести (величины mg) и положения тела (высоты h). Такая зависимость присуща только потенциальной энергии. Следовательно, величина mgh характеризует только потенциальную энергию:

$$E_n = mgh.$$

Эта формула определяет потенциальную энергию тела, расположенного на высоте h от поверхности Земли. Эта формула позволяет заключить, что:

1) потенциальная энергия тела в поле силы тяжести изменяется прямо пропорционально его высоте (h) расположения от поверхности Земли и действующей на его силе тяжести ($F = mg$);

2) работа силы тяжести совершается за счет уменьшения потенциальной энергии тела:

$$A = E_{n_1} - E_{n_2} = \Delta E_n.$$

3. Потенциальная энергия упруго деформированной пружины.

Выше мы определяли потенциальную энергию тела в зависимости его положения относительно другого тела. Теперь определим потенциальную энергию тела, возникающую при изменении взаиморасположения одной части тела относительно другой его части. Для этого определим работу, совершаемую под действием силы упругости, возникающей во время сжатия или растяжения пружины.

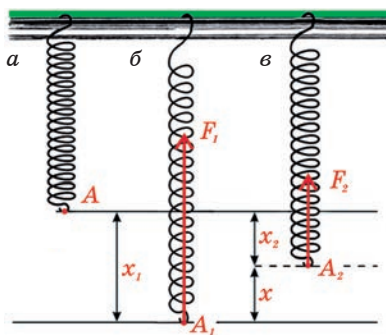


Рис. 5.6

Мы знаем, что на деформированную пружину (рис. 5.6) действует сила упругости: $F = k \cdot |\Delta x|$, где $|\Delta x|$ – абсолютное удлинение пружины; k – коэффициент пропорциональности, называемый *жесткостью*.

Нормальное состояние пружины показано на рис. 5.6, а. В качестве начала координат возьмем точку O , положение которой соответствует свободному концу недеформированной пружины. Выведем пружину из не-

деформированного состояния растяжением ее до точки A_1 . Тогда на нее будет действовать сила упругости F_1 . Под действием этой силы точка A перемещается до положения A_2 (рис. 5.6, б, в), где будет действовать сила упругости F_2 . При этом перемещение равно $x = x_1 - x_2$, где x_1 – начальное удлинение пружины, x_2 – конечное удлинение пружины.

Сила упругости является переменной величиной, которая изменяется в зависимости от состояния деформации x , т. е.:

$$F_1 = k \cdot x_1; \quad F_2 = k \cdot x_2 \text{ и т. д.}$$

Поэтому работа переменной силы упругости равна произведению ее средней силы на перемещение:

$$A = F_{\text{cp}} \cdot x = F_{\text{cp}} (x_1 - x_2), \quad \text{где } F_{\text{cp}} = \frac{1}{2} (F_1 + F_2) = \frac{1}{2} (kx_1 + kx_2).$$

Тогда:

$$A = \frac{1}{2} (kx_1 + kx_2) (x_1 - x_2).$$

В итоге, раскрывая скобки, получим выражение:

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2}.$$

4. Таким образом, работа силы упругости равна разности двух величин вида $\frac{kx^2}{2}$. Следовательно, такая разность, напоминающая разность энергетических уровней физических величин ($A = E_2 - E_1 = \Delta E$) характеризует либо кинетическую, либо потенциальную энергию. Величина $\frac{kx^2}{2}$, как видим, зависит только от положения пружины x (k – постоянная величина). Стало быть, она представляет свойство потенциальной энергии.

Итак, **потенциальная энергия упруго деформированной пружины** определяется формулой:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}.$$

Сравнивая приведенные выше формулы, приходим к следующему выводу: **работа силы упругости равна изменению (убыли) потенциальной энергии пружины**, т. е.:

$$A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2} = E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}} = \Delta E_{\text{п}}.$$

Пример решения задачи

Задача. Жесткость пружинного пистолета равна 4000 Н/м. Масса пули 5 г. Пружину сжимают на 2 см. С какой скоростью пуля вылетит из пистолета? Какова упругая сила пружины? (Силы трения и сопротивления воздуха не учитываются.)

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$m = 5 \text{ г}$ $k = 4000 \text{ Н/м}$ $x = 2 \text{ см}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ $4 \cdot 10^3 \text{ Н/м}$ $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$	Упругая сила (F) совершает работу, когда пружина распрямляется на длину x : $A = F_{\text{упр.}} \cdot x.$
$v - ?$ $F_{\text{упр.}} - ?$		С другой стороны, работа упругой силы совершается за счет изменения потенциальной энергии пружины: $A = \Delta E_n = \frac{kx^2}{2}.$
		За счет работы упругой силы пуля приобретает кинетическую энергию: $A = \frac{mv^2}{2}.$

Решение. На основе анализа содержания задачи получим следующие равенства: $\frac{mv^2}{2} = \frac{kx^2}{2}$ и $F_{\text{упр.}} \cdot x = \frac{kx^2}{2}.$

Из первого равенства находим скорость пули:

$$v = \sqrt{\frac{kx^2}{m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10^3 \text{ Н/м} \cdot (2 \cdot 10^{-2} \text{ м})^2}{5 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}} \approx 18 \text{ м/с}.$$

Примечание. Единицы измерения всех величин, находящихся под корнем, представлены в СИ, поэтому единицы измерения скорости также представляются в единицах СИ, т. е. в м/с.

Из второго равенства находим силу упругости пружины:

$$F_{\text{упр.}} = \frac{kx}{2} = \frac{4 \cdot 10^3 \text{ Н/м} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{ м}}{2} = 40 \text{ Н}.$$

Ответ: $v = 18 \text{ м/с}; F_{\text{упр.}} = 40 \text{ Н}.$



Вопросы

1. Какую энергию называют потенциальной?
2. Как записывается формула потенциальной энергии тела, на которое действует сила тяжести?
3. Какова связь между работой силы тяжести и потенциальной энергией тела?
4. Почему потенциальная энергия носит относительный характер?
5. Какой формулой выражается потенциальная энергия сжатой (растянутой) пружины?
6. Как выражается связь между изменением потенциальной энергии пружины и работой силы упругости?
7. Есть ли в вашей местности возможность использования потенциальной энергии тел (например, воды, ветра)?



Упражнения 5.4

1. Тело массой 100 кг упало с высоты 10 м на крышу дома, высота которого 3 м. Какова работа, совершенная силой тяжести?
2. На вершине горы, высота которой составляет 800 м над уровнем моря, растет яблоня. Какова потенциальная энергия яблока массой 0,5 кг, висящего на ветке яблони, имеющей высоту 5 м, относительно поверхности Земли?



3. Высота падения воды на Нурекской ГЭС равна 275 м. Каждую секунду через одну турбину ГЭС проходит 155 м^3 воды. Какая энергия вырабатывается этой турбиной в 1 с?
4. Одинаковой ли потенциальной энергией обладает тело на одинаковом расстоянии от поверхности Земли и Луны?
5. Пружина жесткостью $k = 2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ под действием силы упругости удлиняется на 3 см. Какова потенциальная энергия растянутой пружины?
6. Под действием силы упругости 250 Н пружина растянулась на 30 см. Найдите потенциальную энергию пружины и работу силы упругости. Как изменится потенциальная энергия пружины, если под действием силы упругости пружина растянется еще на 20 см?
7. При растяжении пружины на 6 см ее потенциальная энергия составила 180 Дж. Какова жесткость пружины?



Теоретическое исследование

1. Какое из указанных на рис. 5.7 тел обладает энергией относительно стола и поверхности Земли? Как эта энергия называется и какими формулами описывается?
2. Выполните следующую работу. Приложите к пружине линейку и измерьте ее длину (рис. 5.8, а). Затем положите на пружину шар массой 1 кг (рис. 5.8, б). Чему равна возникшая в ней сила упругости? Какая при этом совершается работа? За счет изменения какой энергии совершается эта работа? Материалы представьте как письменный проект.

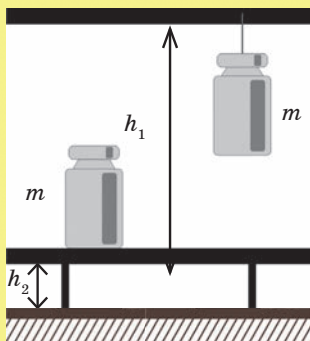


Рис. 5.7.

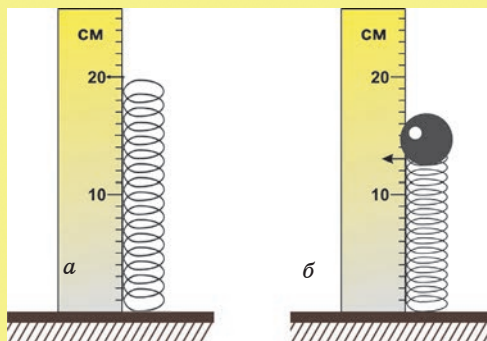


Рис. 5.8. Сжатая пружина обладает потенциальной энергией

§ 34

ПРЕВРАЩЕНИЕ И СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ

1. Потенциальная или кинетическая энергии, взятые в отдельности, не присущи только какому-то одному телу. Любое тело, если не учитывать некоторых случаев, обладает и потенциальной, и кинетической энергией. Например, самолет, летящий со скоростью v на высоте h относительно Земли, обладает как потенциальной, так и кинетической энергией.

Сумму кинетической и потенциальной энергии замкнутой системы тел в любой момент времени называют полной механической энергией системы: $E = E_k + E_n$.

Следовательно, механическая энергия тела изменяется в зависимости как от его скорости, так и от его положения в пространстве.

И в природе, и в технике происходит постоянное превращение одного вида механической энергии в другой. Взаимопревращение кинетической энергии в потенциальную и наоборот имеет место, например, в качающемся маятнике. При столкновении упругих тел друг с другом также один вид механической энергии превращается в другой.

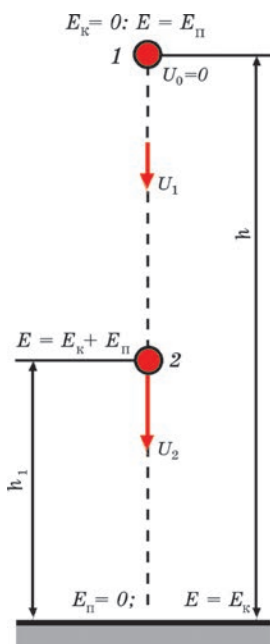


Рис. 5.9. Превращение механической энергии стального шарика

2. Теперь рассмотрим систему, состоящую из двух тел, в которой происходит взаимопревращения энергии. Пусть в этой системе действуют только силы тяжести и силы упругости. Действие внешних сил, (сопротивление воздуха или сила трения), не учитывается. Идеальная система, все тела которой не взаимодействуют со внешней средой, называется **замкнутой системой**. Рассмотрим превращение механической энергии в такой **замкнутой системе**, состоящей из стального шарика и плиты (рис. 5.9).

Когда шарик неподвижно находится на высоте h , кинетическая энергия равна нулю, а его механическая энергия состоит только из потенциальной энергии. По мере падения шарика его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая энергия, наоборот, растет. Это происходит потому, что по мере снижения шарика его высота убывает, следовательно, уменьшается и потенциальная энергия. Вместе с тем скорость движения шарика увеличивается, следовательно, растет и его кинетическая энергия.

В момент касания шариком поверхности плиты ($h = 0$) его потенциальная энергия становится равной нулю, а скорость его (следовательно, и его кинетическая энергия) достигает максимального значения. Таким образом, потенциальная энергия шарика полностью превращается в его кинетическую энергию. В этот момент механическая энергия шарика состоит только из кинетической.

Далее, когда шарик, летящий с большой скоростью, ударяется о стальную плиту, его скорость внезапно становится равной нулю. При этом его кинетическая энергия снова превращается в нуль. Превращение его кинетической энергии в нуль не означает, что она бесследно исчезла.

При ударе шарика о плиту деформируются как шарик, так и плита, т. е. происходит их сжатие. Таким образом, кинетическая энергия шарика полностью превращается в потенциальную энергию сжатых тел – шарика и плиты.

За счет потенциальной энергии сжатых тел совершается работа, и шарик отскакивает вверх со скоростью, равной скорости, которой он обладал в момент удара о плиту. Так потенциальная энергия деформированных тел полностью превращается в кинетическую энергию. При подъеме вверх его кинетическая энергия уменьшается, а потенциальная энергия увеличивается. Таким образом, в замкнутой системе происходит поочередное и непрерывное превращение одного вида энергий в другой. Однако *сумма потенциальной и кинетической энергий*, т. е. *механическая энергия замкнутой системы, при любых расположениях тел остается без изменения*:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \text{const (постоянная)} .$$

Это равенство отражает **закон сохранения и превращения механической энергии** в замкнутой системе.

3. Для доказательства сохранения в замкнутой системе механической энергии определим совершаемую работу тела при падении его с точки 1 до точки 2 (рис. 5.9).

Учитывая, что работа силы тяжести затрачивается на изменение потенциальной (или кинетической) энергии свободно падающего тела, можем написать следующие равенства:

$$A = E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}}, \text{ или } A = E_{\text{к2}} - E_{\text{к1}} .$$

Левые стороны этих равенств представляют одну и ту же работу, выполненную падающим телом при перемещении между двумя уровнями высоты. Следовательно, равны и правые стороны равенств:

$$E_{\text{п1}} - E_{\text{п2}} = E_{\text{к2}} - E_{\text{к1}} .$$

Отсюда имеем: $E_{\text{п1}} + E_{\text{к1}} = E_{\text{п2}} + E_{\text{к2}} = \text{const}$ (постоянно).

Зная, что сумма потенциальной и кинетической энергий тела представляет его механическую энергию, можем представить $E_1 = E_{\text{п1}} + E_{\text{к1}}$; $E_2 = E_{\text{п2}} + E_{\text{к2}}$. Следовательно, вышеуказанные равенства можем представить в следующем виде:

$$E_1 = E_2 = E = \text{const}, \text{ или } E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \text{const} .$$

Таким образом убеждаемся в том, что механическая энергия свободно падающего тела на всех уровнях остается постоянной.

Закон сохранения энергии применяется для рационального решения многих сложных задач. Например, он используется в технике при расчетах движения различных механизмов, в астрономии – в предсказании движения небесных тел (звезд, планет и т. д.), в космонавтике – при определении траекторий движения ракет, космических кораблей и спутников.

Закон сохранения и превращения механической энергии является одним из проявлений более универсального закона сохранения и превращения энергии, действующего в природе. С другими проявлениями этого универсального закона природы будем знакомиться в старших классах.

4. В действительности невозможно составить замкнутую систему тел, не взаимодействующих с внешней средой. Поэтому кажется, что в механике закон сохранения энергии не выполняется. На самом деле мяч, упавший с полки на пол, вновь не может подняться до уровня полки. Это говорит о том, что механическая энергия мяча, которой он обладал до падения с полки, после падения не сохраняется. Отсюда нельзя сделать вывод о том, что закон сохранения механической энергии не выполняется. Дело в том, что здесь мяч и пол, входящие в одну систему, взаимодействуют с внешней средой, не входящей в эту систему. Действительно, часть первоначальной механической энергии мяча тратится на преодоление сопротивления воздуха, т.е. превращается в тепловую энергию. В таких случаях, когда тело взаимодействует с внешней средой, закон сохранения механической энергии не соблюдается. Эти обстоятельства следует учитывать при применении закона сохранения механической энергии. В связи с этим, чтобы не допустить каких-либо искажений, закон сохранения энергии сформулируем более конкретно: *механическая энергия замкнутой системы, где между телами действуют только силы тяжести или упругости, сохраняется постоянной.*

Пример решения задачи

Задача. Пуля массой $m = 10$ г, летящая со скоростью $v_1 = 800$ м/с, попадает в дерево и застревает на глубине $s = 10$ см. Найдите силу F сопротивления дерева, считая ее постоянной величиной.

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$m = 10$ г $v_1 = 800$ м/с $v_2 = 0$ $s = 10$ см <hr/> $F = ?$	10^{-2} кг $8 \cdot 10^2$ м/с 10^{-1} м	$E_{к1} = \frac{mv_1^2}{2}$ – кинетическая энергия подлетающей к дереву пули. $A = F \cdot s$ – работа пули по преодолению сил сопротивления дерева. С другой стороны, работа пули в дереве равна изменению ее кинетической энергии: $A = \Delta E$. Изменение кинетической энергии пули в дереве: $\Delta E_k = E_{к1} - E_{к2} = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{mv_1^2}{2}.$

Решение. Из анализа условия задачи имеем: $\frac{mv_1^2}{2} = F \cdot s$; отсюда $F = \frac{mv_1^2}{2s}$.

Вычисление. $F = \frac{mv_1^2}{2s} = \frac{10^{-2} \text{ кг} \cdot (800 \text{ м/с})^2}{2 \cdot 10^{-1} \text{ м}} = 32 \text{ кН}$.

Ответ: 32 кН.



Вопросы

1. Какую энергию тела называют механической?
2. Какая система называется замкнутой?
3. Как читается закон сохранения и превращения энергии в замкнутой системе?
4. Как теоретически обосновывается закон сохранения и превращения механической энергии?
5. Выполняется ли закон сохранения механической энергии при наличии силы трения? Если не сохраняется, то как можно это объяснить?
6. При каких условиях выполняется закон сохранения механической энергии? Как более конкретно с учетом этих условий формулируется закон сохранения механической энергии?



Упражнения 5.5

1. Пуля массой 9 г пробивает доску толщиной 5 см, при этом ее скорость убывает с 600 м/с до 200 м/с. Найдите изменение кинетической энергии и работу, а также значение силы сопротивления, считая ее постоянной величиной.
2. Самолет массой 100 т взлетел на высоту 1 км со скоростью 200 м/с. Какова его механическая энергия относительно Земли?
3. Какую работу нужно затратить, чтобы запустить на орбиту вокруг Земли спутник массой 5 т, если он летит со скоростью 8 км/с на высоте 100 км? Чему равна механическая энергия спутника на орбите?



Теоретическое исследование

Что произойдет, если пережечь нитку, стягивающую пружину, один конец которой прикреплен к шарiku, лежащему на плоской поверхности (рис. 5.10)? Какое превращение энергии будет наблюдаться при этом? Постарайтесь определить на опыте работу упругой силы пружины. Сопоставьте ее с вашими теоретическими расчетами. Результаты и ваши ответы на поставленные вопросы обсудите на заседании кружка и осветите в стенной газете.

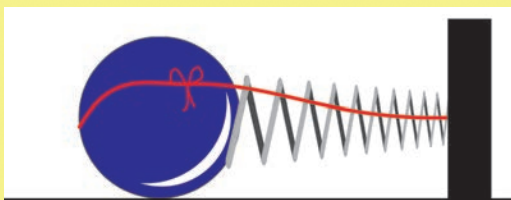


Рис. 5.10. Сжатая пружина с шариком

§ 35

МОМЕНТ СИЛЫ. ЦЕНТР МАСС ТЕЛ

1. Вращающиеся тела широко применяются в производстве и занимают ведущее место в природе. Для характеристики движения тел, имеющих оси вращения, вводится понятие *момент силы*. Для объяснения этого понятия рассмотрим вращающееся простое тело – рычаг. *Любое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры, называется рычагом.*

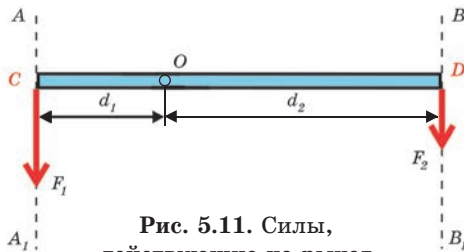


Рис. 5.11. Силы, действующие на рычаг

Пусть на рычаг (рис. 5.11) действуют две внешние силы – F_1 и F_2 . Для упрощения вопроса силами тяжести обеих частей рычага пренебрегают. Точку O , через которую проходит ось вращения рычага, называют *точкой опоры*. Силы F_1 и F_2 действуют вдоль прямых линий AA_1 и BB_1 . Кратчайшее расстояние от оси вращения до линии

действия силы называется *плечом* силы. На рисунке $d_1 = OC$ является плечом силы F_1 , тогда как $d_2 = OD$ – плечо силы F_2 .

2. *Произведение действующей на тело силы на ее плечо называется моментом силы:*

$$M = F \cdot d,$$

где: M – момент силы, F – действующая сила, d – плечо силы.

Приведенное выше определение по существу раскрывает физический смысл момента силы. Если выразиться более конкретно, то момент силы характеризует вращательный эффект силы, приложенной к твердому телу, в зависимости от длины ее плеча.

За единицу момента силы принимают моменты силы в 1 Н, плечо которой равно 1 м. Эту единицу называют ньютоном · метр (кратко Н · м).

$$1 \text{ ньютоном} \cdot \text{метр} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}.$$

На вышеуказанном рисунке момент силы F равен:

$$M_1 = F_1 \cdot d_1 \rho.$$

Момент силы F_2 :

$$M_2 = F_2 \cdot d_2.$$

Момент силы, как и сила, – векторная величина. Его направление совпадает с направлением приложенной силы. Например, момент M_1 , как и сила F_1 , действует в направлении против движения часовой стрелки. Момент M_2 , как и сила F_2 , действует в направлении движения часовой стрелки.

3. Теперь рассмотрим тот случай, когда на вращающееся тело действует и собственная сила тяжести. Ранее для упрощения вопроса мы пренебрегли силами тяжести ($F = mg$) обеих частей рычага (рис. 5.11). Однако любое тело обладает массой и на каждую его часть действует сила тяжести. Такие силы тяжести также оказывают большое влияние на движение вращающегося тела. В таких случаях для вращающегося тела вводится понятие **центр масс**.

Определение центра масс тела (или системы тел) имеет большое значение. Например, технические установки быстро выходят из строя, если оси вращающихся у них деталей проводятся вне их центра масс, так как возникает опасная сила инерции. Если же оси вращения тел проводятся через их центры масс, то такая опасность не возникает. Вот почему при технических осмотрах машин также большое значение придается «балансировке» колес транспортных средств. Итак, какая точка тела называется центром масс?

*Если тело при отсутствии действия внешних сил сохранит состояние покоя (или равномерного движения) относительно своей оси вращения, проведенной через какую-то точку, то такая точка называется **центром масс** данного тела.*

Считается, что в таком центре сосредоточена вся масса тела (системы тел). Поэтому такой точечный центр тела называется также **центром инерции**, или **центром тяжести**.

Центр масс тела (системы тел) можно определить *экспериментальным* и *расчетным* (теоретическим) способами.

4. Определение центра масс плоской фигуры. Для того чтобы показать, как экспериментально определяется центр масс любой плоской фигуры, возьмем какое-нибудь плоское изделие произвольной формы (рис. 5.12, а). Для определения его центра масс подвесим данное изделие с помощью крепкой нити, один конец которой закреплен в точке A_1 , а другой – в точке A_2 изделия (рис. 5.12, б). Затем на поверхности изделия проводим линию AA_2 по направлению действия силы тяжести. Повторим опыт, прикрепив нитки в другой точке B данной фигуры (рис. 5.12, в). Снова проводим новую линию BB_2 , по направлению действия силы тяжести. Проведенные обе линии тяжести пересекаются в точке O . Эта точка как раз и определяет **центр масс** плоской фигуры.

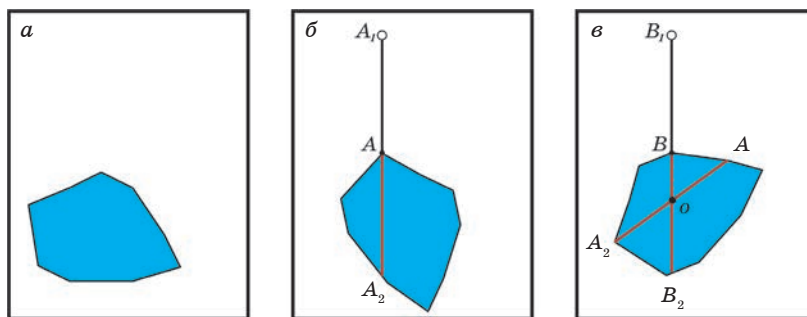


Рис. 5.12. Определение центра масс плоского тела

5. Теперь покажем, как теоретически расчетным способом определяется центр масс единой системы, состоящей из двух точечных тел, массы которых соответственно равны m_1 и m_2 .

Для упрощения задачи поместим эти тела на оси Ox (рис. 5.13). Предположим, что центр масс этих двух тел находится в точке C . Тогда координаты центра масс двух тел в точке C определяются по формуле:

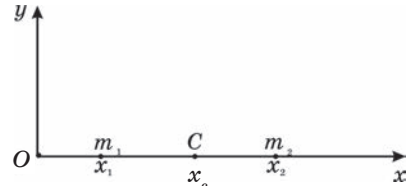


Рис. 5.13. Центр масс (x_c) системы из двух тел

$$x_c = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2},$$

где x_1 и x_2 соответственно являются координатами двух тел.

6. В качестве примера расчетного определения центра масс покажем решение следующей задачи.

Задача. Расстояние между Луной и Землей составляет 384 000 км. В какой точке расположен центр масс системы Земля – Луна?

Для упрощения расчета поместим начало декартовой координатной системы в центре Земли, а ее ось Ox направим вдоль отрезка, соединяющего Землю с Луной. И Землю, и Луну представим как материальную точку. Пусть их центр масс располагается в точке C на оси Ox . Тогда координаты Земли равны: $x_z = 0$; $y_z = 0$; $z_z = 0$. а координаты Луны: $x_l = 384\,000$ км (расстояние до Луны), $y_l = 0$; $z_l = 0$.

Следовательно, координаты центр масс системы Земля – Луна определяются по формуле:

$$x_c = \frac{m_z \cdot x_z + m_l \cdot x_l}{m_z + m_l} = \frac{m_l \cdot x_l}{m_z + m_l},$$

где: m_z – масса Земли, m_l – масса Луны; табличные данные которых равны: $m_z = 5,978 \cdot 10^{24}$ кг, $m_l = 7,35 \cdot 10^{22}$ кг.

Подставив значения m_l , x_l и m_z в вышеуказанную формулу, определим координату расположения центра масс системы Земля – Луна:

$$x_c = \frac{m_z \cdot x_z + m_l \cdot x_l}{m_z + m_l} = \frac{m_l \cdot x_l}{m_z + m_l} = \frac{7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг} \cdot 384\,000 \text{ км}}{5,978 \cdot 10^{24} \text{ кг} + 7,35 \cdot 10^{22} \text{ кг}} \approx 4666 \text{ км}.$$

Таким образом, центр масс системы Земля – Луна находится в точке, удаленной от центра Земли на расстояние 4666 км. Эта точка расположена внутри Земли, так как радиус Земли ($r_z = 6378$ км) больше по сравнению с этим расстоянием.



Вопросы

1. Что называется рычагом?
2. Что называется плечом силы?



3. Что называется моментом силы?
4. Что называется центром масс? Для чего необходимо определять центр масс?
5. Какими способами определяют местоположение центра масс?
6. Как экспериментально определяется центр масс тела (системы тел)?
7. Какую формулу используют при определении центра масс тел (системы тел)?
Что означают физические величины, входящие в эти формулы?
8. Как вы считаете, вокруг чего вращается Луна: вокруг центра Земли или вокруг центра масс Земля – Луна? Обсудите в группе, ответы обоснуйте.

Лабораторная работа № 8

Нахождение центра масс плоской фигуры (для внеклассной работы)

Цель работы: проверка правильности методов нахождения центра масс плоской фигуры, описанных в учебнике (§ 35).

Приборы и материалы: ножницы, картон, штатив, нить (тонкая веревка), шило, груз (гиря лабораторная).

Задание 1. Нарисуйте на куске картона отпечаток от ладони левой руки и вырежьте его ножницами. У края фигуры в разных его точках сделайте шилом три отверстия. Подвесьте фигуру с помощью нити, продевая ее через одно из отверстий. Подвесьте туда же груз с помощью нити, прикрепленной к нему. Проведите на картоне линию действия силы тяжести без искажений.

Задание 2. Повторите опыт, продевая нить через другое отверстие и снова отметьте линию действия силы тяжести. Третий раз проделав опыт с помощью другого неиспользованного отверстия, убедитесь, что во всех трех случаях линии силы тяжести проходят через одну и ту же точку O , которая является центром масс вырезанной плоской фигуры.

Проверьте, действительно ли точка O является центром масс вашей фигуры. Для этого положите фигуру на острие карандаша или ручки так, чтобы центр масс находился на острие. Можно проверить и по-другому, проделав шилом отверстие в точке O фигуры и, пропустив через него гвоздь, который послужит осью вращения. Если картонная фигура в любом ее положении сохранит безразличное равновесие, то это значит, что точка O действительно является центром масс данной фигуры.

Задание 3. Опишите ход эксперимента в рабочей тетради, строго соблюдая все семь требований к его оформлению, приведенных в § 2 учебника. Результаты эксперимента обсудите с учителем и другими учащимися. Завершая лабораторную работу, дайте ответ на вопрос: чему равна равнодействующая сил, действующих на картонную фигуру, находящуюся на острие карандаша?

Сделайте выводы.

§ 36.

ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ.
«ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

1. В строительстве (рис. 5.14–5.17), а также в создании сложных технических установок в качестве их отдельных простых деталей используются так называемые **простые механизмы**. Простые механизмы используются, во-первых, для выигрыша в силе; во-вторых, для изменения направления движения тела и приложенной к нему силы. Например, вместо того чтобы поднять тяжелый груз вертикально вверх, его поднимают на ту же высоту по наклонной поверхности (рис. 5.14).

Средства, используемые для преобразования силы и изменения ее направления, называют простыми механизмами.

К простым механизмам относятся *рычаг* (рис. 5.16), *блок* (рис. 5.17 и 5.18), *наклонная плоскость* (рис. 5.14) и их разновидности: *ворот*, *клин* и *винт*.

2. Какой выигрыш в силе можно получить, используя простые механизмы? Чтобы ответить на этот вопрос, воспользуемся условием равенства моментов сил. Например, предположим, что F_1 – сила, которую тратит рабочий, а F_2 – сила тяжести тела,



Рис. 5.14. Поднятие груза с помощью наклонной плоскости

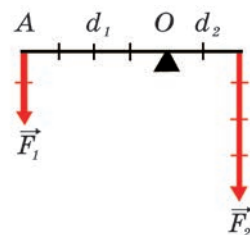


Рис. 5.15. Силы, действующие на рычаг

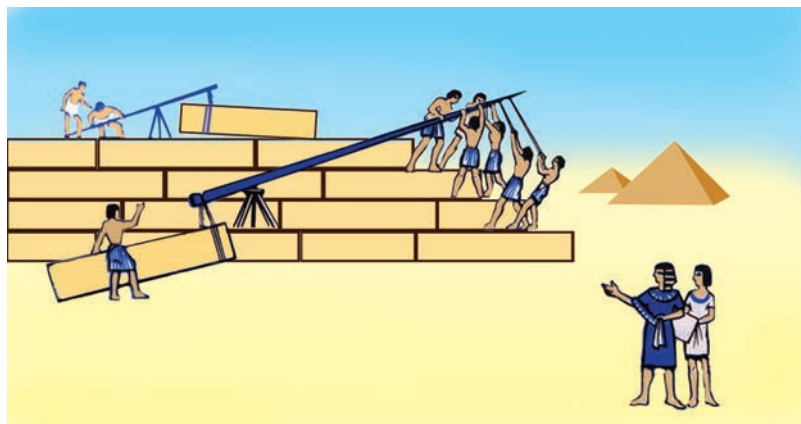


Рис. 5.16. Сооружение пирамиды с помощью простых механизмов

которое нужно поднять (рис. 5.15). Согласно условию равновесия вращающегося тела имеем:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2, \text{ или } \frac{d_1}{d_2} = \frac{F_2}{F_1},$$

где d_1 – плечо силы рабочего, d_2 – плечо силы тяжести.

Из этих равенств вытекает такой вывод: *во сколько раз плечо силы рабочего больше плеча силы тяжести, во столько же раз рабочий выигрывает в силе.*

3. Одним из видов простых механизмов является блок (рис. 5.17 и 5.18). Блок представляет собой колесо, способное вращаться вокруг своей оси и имеющее по краю желоб. Блоки бывают подвижными и неподвижными.

Неподвижным называется такой блок, ось которого закреплена и при подъеме груза не поднимается и не опускается (рис. 5.18, а).

Неподвижный блок можно рассматривать как равноплечий рычаг ($AO = OB = r$ (рис. 5.18, б). Такой блок не дает выигрыша в силе ($P = F$), но позволяет менять направление действия силы.

Блок, ось вращения которого поднимается и опускается вместе с грузом, называется подвижным блоком (рис. 5.18, в).

На рис. 5.18, г изображен подвижный блок в виде соответствующего ему рычага, где O – точка опоры рычага, AO – плечо силы тяжести P , BO – плечо силы F .

Так как плечо BO в 2 раза больше плеча AO , то сила F в 2 раза меньше силы P . Для рычага условие равновесия моментов сил, действующих как по часовой, так и против часовой стрелки, записывается:

$$P \cdot OA = F \cdot OB.$$

Отсюда: $\frac{P}{F} = \frac{OB}{OA}$, или $\frac{P}{F} = \frac{2OA}{OA} = 2$, отсюда $F = \frac{P}{2}$.

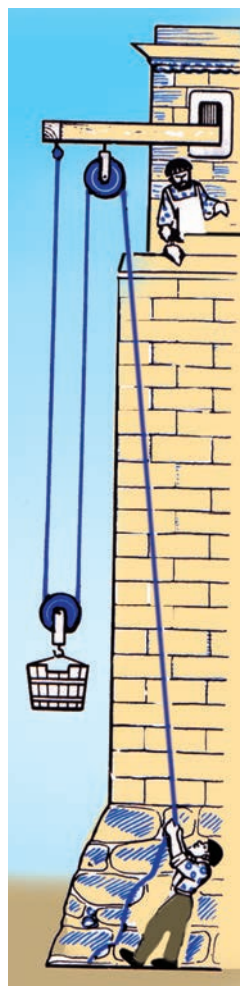


Рис. 5.17. Применение блоков в строительстве

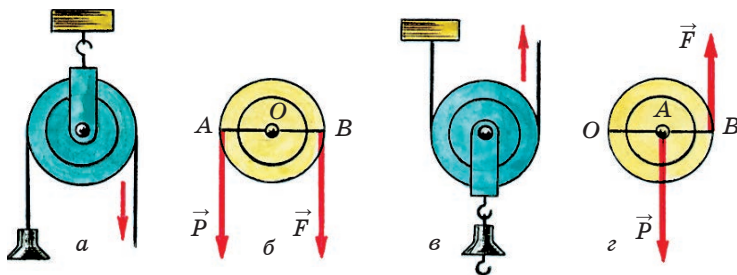


Рис. 5.18. Блоки



Таким образом, в рассматриваемом примере подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза.

Чтобы получить выигрыш в силе, обычно применяют подвижный и неподвижный блоки вместе (рис. 5.18, а, 5.18, д). Неподвижный блок применяют только для удобства выполнения работы. Он не дает выигрыша в силе, но позволяет менять направление действия силы. Например, с его помощью, находясь на земле, можно поднять груз вверх.

4. Выше мы доказали, что, используя простые механизмы, можно выиграть в силе. Спрашивается: а можно при этом выиграть в пути? Для ответа на этот вопрос определим работы, производимые с помощью наклонной плоскости.

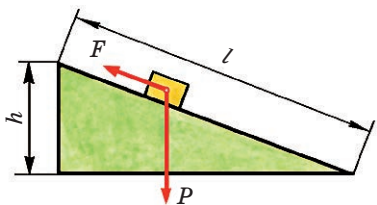


Рис. 5.19.

Наклонная плоскость

Одним из простых механизмов, дающих выигрыш в силе, является *наклонная плоскость* (рис. 5.14 и 5.19). Определим работу, совершаемую с помощью наклонной плоскости.

Поднимем тело массой m на высоту h , равномерно двигая его по наклонной плоскости длиной l . При этом на тело действуют две силы: P – сила тяжести, F – сила тяги. Для облегчения вычислений не учитываем силу трения.

Работа, совершаемая силой тяги при перемещении тела по наклонной плоскости, равна: $A = F \cdot l$.

Когда поднимают тело относительно поверхности Земли на высоту h , то его потенциальная энергия нарастает на величину $\Delta E_n = E_{n2} - E_n$. Данное изменение равно работе, производимой при перемещении тела по наклонной плоскости:

$$A = F \cdot l = E_{n2} - E_{n1} = mgh, \text{ т. е. } F \cdot l = mgh.$$

Если учесть, что сила тяжести $P = mg$, то $F \cdot l = P \cdot h$, или

$$\frac{F}{P} = \frac{h}{l}.$$

Из равенства этих соотношений вытекает следующий вывод: *во сколько раз сила тяги, действующая на тело вдоль наклонной плоскости, меньше силы тяжести, во столько же раз высота наклонной плоскости меньше ее длины.*

Обобщая вышеуказанные примеры, приходим к следующему заключению: **во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в пути.** Это положение, общее для всех разновидностей простых механизмов, называется **«золотым правилом» механики.**



Вопросы

1. Какие механизмы называются простыми? Приведите примеры простых механизмов.
2. Какие простые механизмы вы знаете?
3. Дают ли простые механизмы выигрыш в работе?
4. Для чего используют рычаг?

5. Что называется блоком? Чем отличаются подвижные и неподвижные блоки?
6. Как читается «золотое правило» механики? Объясните на примере наклонной плоскости.



Упражнения 5.6

1. Укажите точку опоры и плечи сил у рычагов, изображенных на рис. 5.20.
2. Рассмотрите рис. 5.20, а, б. При каком расположении груза на палке момент его силы тяжести больше? В каком случае груз легче нести? Почему?



Рис. 5.20

3. На рис. 5.21 изображен разрез предохранительного клапана. Рассчитайте, какой груз надо подвесить на рычаг, чтобы пар не выходил через клапан. Давление в котле в 12 раз больше нормального атмосферного давления. Площадь клапана 3 см^2 , вес клапана и вес рычага не учитывать. Плечи сил измерьте по рисунку. Куда нужно переместить груз, если давление пара в котле увеличится? уменьшится? Ответ обоснуйте.

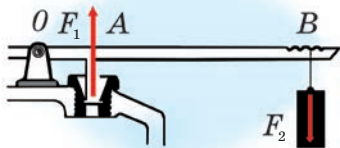


Рис. 5.21

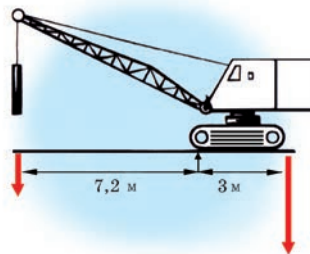


Рис. 5.22

4. Рассчитайте, какой груз можно поднимать с помощью подъемного крана (рис. 5.22), если масса противовеса 1000 кг. Сделайте расчет, пользуясь равенством моментов сил.



Практические задания

1. Рассмотрите устройство домашних плоскогубцев (или кусачек, щипцов для сахара, ножниц для жести). Найдите у них ось вращения, плечо силы сопротивления и плечо действующей силы. Сделайте чертеж и укажите на нем силы и их плечи. Подсчитайте, какой выигрыш в силе может дать данный инструмент.
2. Подготовьте доклад на тему «Рычаги в организмах человека и животных». Обсудите свои доклады и результаты 1-го задания на заседании кружка.

3. Открыв «золотое правило» механики, Архимед воскликнул: «Дайте мне точку опоры, и я сдвину Землю!». Представьте, что вы определили неподвижную точку опоры рычага на Луне. Как вы найдете длину рычага, который использовал бы Архимед для поднятия Земли силой 100 Н? Попробуйте сами найти ответ на этот вопрос и обсудите на заседании физического кружка.



Экспериментальное исследование

С помощью динамометра измерьте силу тяжести какого-либо груза. После этого закрепите этот груз к одному концу веревки, а другой ее конец закиньте через неподвижный блок. Равномерно вытягивая свободный конец веревки, поднимайте груз. Проверьте с помощью динамометра, дает ли неподвижный блок выигрыш в силе. Если выигрыша не дает, то объясните, для чего он нужен.

§ 37

УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

1. Момент силы позволяет определить условие равновесия вращающихся тел, в том числе и рычага. Для равновесия рычага необходимо, чтобы модули моментов сил, действующих на него как по направлению, так и против направления движения часовой стрелки, должны быть равными:

$$M_1 = M_2.$$

Основанием для такого суждения является опыт. В этом можно убедиться, проделав опыт с помощью рычага-линейки (рис. 5.23).

Подвесивая грузы различной массы на плечи рычага, приведем его в равновесие. С помощью шкалы на линейке легко найдем плечи сил, действующих на рычаг. Зная величину действующих сил и их плеч, определим моменты этих сил. Таким образом убеждаемся, что момент силы, действующей на левую часть рычага, ($M_1 = F_1 \cdot d_1 = 4\text{Н} \cdot 0,4\text{м} = 1,6\text{Нм}$) равен сумме моментов двух сил ($M_2 = F_2 \cdot d_2 + F_3 \cdot d_3 = 2\text{Н} \cdot 0,3\text{м} + 2\text{Н} \cdot 0,5\text{м} = 1,6\text{Нм}$),

действующих на правую часть рычага ($M_1 = M_2$). Итак, опыт подтверждает, что *сумма моментов сил, действующих слева от оси вращения, равна сумме моментов сил, действующих справа от оси вращения.*

Повторяя подобный опыт с многими грузами, можно установить условие равновесия вращающегося тела, которое называется **правилом моментов: тело, способное вращаться вокруг закрепленной оси, находится в равновесии, если сумма моментов сил $\sum_i^n M_i$, вращающих это тело по часовой**

стрелке, равна сумме моментов сил $\sum_i^m M_i'$, вращающих его против часовой стрелки:

$$\sum_i^n M_i = \sum_i^m M_i'$$

2. Принцип действия **рычажных весов** (рис. 5.24) основан на условии равновесия вращающегося тела. Приведем весы в равновесие, поместив на левую их чашку тело, массу которого измеряют, а на правую чашку – гири. Обозначим вес тела $P_1 = m_1g$, а гири – $P_2 = m_2g$. Так как весы находятся в равновесии, моменты этих сил должны быть равными друг другу: $M_1 = M_2$ или $P_1d_1 = P_2d_2$. Здесь d_1 и d_2 – плечи сил. У лабораторных равноплечих рычажных весов плечи сил равны $d_1 = d_2 = d$.

Из вышеприведенных рассуждений следует, что когда равноплечие весов находятся в равновесии, то $m_1 = m_2$. Отсюда можем сделать такой вывод: *если масса гирь равна массе взвешиваемого тела, то равноплечие рычажных весов находится в состоянии равновесия.*

Таким образом, **рычажные весы используются для измерения массы тела.**

3. Чтобы определить массу тяжелых тел (грузовые машины, вагоны и т.д.), применяют весы, имеющие различные плечи. Например, если одно плечо l , то второе может иметь длину $L = l/100$. Тогда условие равновесия записывают так:

$$gml = gML,$$

где m – масса гирь; M – масса измеряемого тела.

Подставив значения плеч в последнее равенство и преобразовав его, получим выражение: $m = M/100$.

Отсюда видно, что масса гирь в 100 раз меньше массы тела. Таким образом, имея небольшой набор гирь, можно найти массу очень тяжелых тел.

Весы, для которых число десять является кратным, называют **десятичными**.



Рис. 5.24. Различные весы

Примеры решения задач

Задача. На линейку-рычаг (рис. 5.25) в одном случае действуют четыре силы, во втором случае – три силы. В каком случае линейка-рычаг будет находиться в равновесии? В каком направлении она будет поворачиваться, если равновесия нет?

1) Решение задачи для первого случая.

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$F_1 = 2 \text{ Н}$ $F_2 = 3 \text{ Н}$ $F_3 = 2 \text{ Н}$ $F_4 = 1 \text{ Н}$ $d_1 = 30 \text{ см}$ $d_2 = 10 \text{ см}$ $d_3 = 10 \text{ см}$ $d_4 = 40 \text{ см}$	2 Н 3 Н 2 Н 1 Н 0,3 м 0,1 м 0,1 м 0,4 м	Сумма моментов сил, вращающих тело против часовой стрелки: $M_1 + M_2$. Сумма моментов сил, вращающих тело по часовой стрелке: $M_3 + M_4$. Согласно правилу моментов, рычаг может находиться в равновесии при условии: $M_1 + M_2 = M_3 + M_4$.
$(M_1 + M_2) - ?$ $(M_3 + M_4) - ?$		Если это условие не выполняется, то рычаг начнет поворачиваться.

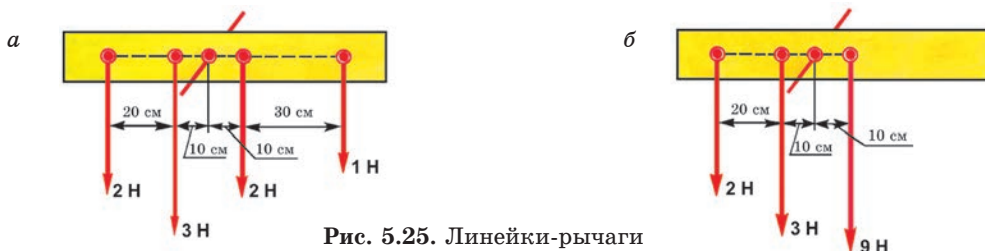


Рис. 5.25. Линейки-рычаги

Решение. $M_1 + M_2 = F_1 d_1 + F_2 d_2 = 2 \text{ Н} \cdot 0,3 \text{ м} + 3 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

$M_3 + M_4 = F_3 d_3 + F_4 d_4 = 2 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} + 1 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м} = 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Отсюда $(M_1 + M_2) > (M_3 + M_4)$, или $0,9 \text{ Н} \cdot \text{м} > 0,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

Ответ: в этом случае рычаг не может находиться в равновесии. Он будет поворачиваться против часовой стрелки.

2) Решение задачи для второго случая.

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$F_1 = 9 \text{ Н}$ $F_2 = 3 \text{ Н}$ $F_3 = 2 \text{ Н}$ $d_1 = 10 \text{ см}$ $d_2 = 10 \text{ см}$ $d_3 = 30 \text{ см}$	0,1 м 0,1 м 0,3 м	M_1 – момент силы, вращающей тело по ходу часовой стрелки. $(M_2 + M_3)$ – сумма моментов сил, вращающих тело против хода часовой стрелки. Равновесие рычага имеет место, если выполняется условие: $M_1 = M_2 + M_3$.
$M_1 - ?$ $(M_2 + M_3) - ?$		

Решение.

$$M_1 = F_1 d_1 = 9 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$(M_2 + M_3) = F_2 d_2 + F_3 d_3 = 3 \text{ Н} \cdot 0,1 \text{ м} + 2 \text{ Н} \cdot 0,3 \text{ м} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ответ: в этом случае линейка-рычаг находится в равновесии, так как $M_1 = M_2 + M_3$, или $0,9 \text{ Н} \cdot \text{м} = 0,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$.



Вопросы

1. При выполнении какого условия тело, способное вращаться вокруг неподвижной оси, будет находиться в равновесии, если на него действует много сил? Как читается правило моментов?
2. Каков принцип действия равноплечих и «десятичных» весов? Для каких целей используются рычажные весы?
3. При выполнении каких условий приходят в равновесие равноплечие и десятичные весы?
4. Совпадают ли показания рычажных весов на Луне и Земле? Обоснуйте ответы.
5. Действуют ли (работают ли) рычажные весы в условиях невесомости?
6. Существуют ли виды весов, на которых можно произвести измерение с помощью только одной гири? Если есть, то каков принцип их действия?



Практическое задание

В ваше распоряжение предоставлены (если нет, сами соберите по рис. 5.26): рычаг-линейка, гирька 10 г с проволочной петлей, тело неизвестной массы (предположительно золотое изделие). Определите массу этого тела. Проверьте правильность полученного вами результата взвешиванием. Как можно установить, что это изделие сделано из чистого золота? Проверьте на опыте.

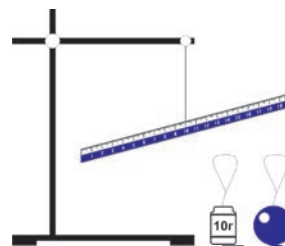


Рис. 5.26

Лабораторная работа № 9

Определение условия равновесия рычага

Цель работы: используя рычаг, проверить экспериментально справедливость правила моментов сил.

Приборы и материалы: рычаг, штатив, набор грузов, масштабная линейка, динамометр (рис. 5.27).

Задание 1. Проверка условий равновесия рычага под действием двух сил.

Ход работы.

1. Повторите по учебнику темы «Рычаг», «Равновесие тел», «Момент силы».
2. Установите рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он находился в состоянии равновесия.

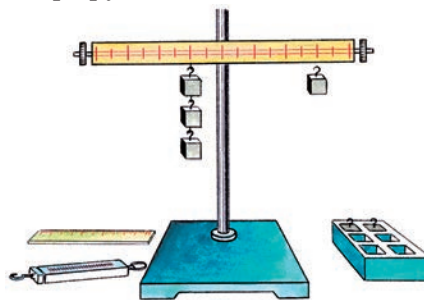


Рис. 5.27

3. Подвесьте два груза общей массой m_1 на левой части рычага на расстоянии l_1 от оси вращения. Опытным путем определите, на каком расстоянии l_2 справа от оси вращения рычага надо подвесить определенный груз, чтобы рычаг пришел в равновесие.

Полученные данные занесите в таблицу.

4. Подвесив три, а потом четыре груза на левой части рычага, повторите опыты.

Слева от оси				Справа от оси			
Масса, m_1 (г)	Плечо, l_1 (см)	Сила, F_1 (Н)	Момент силы, M_1 (Н·м)	Масса, m_2 (г)	Плечо, l_2 (см)	Сила, F_2 (Н)	Момент силы, M_2 (Н·м)

5. Сравнивая моменты сил M_1 и M_2 , оцените, насколько отклоняются полученные результаты эксперимента от правила моментов сил. Для оценки отклонения нужно разделить разность моментов сил ($M_1 - M_2$) на среднее значение $\frac{(M_1 + M_2)}{2}$, т. е.

$$\text{Отклонение} = (M_1 - M_2) : \frac{(M_1 + M_2)}{2} \cdot 100\%.$$

Задание 2. Проверка условия равновесия рычага под действием нескольких сил, приложенных в разных точках.

Ход работы.

1. Приведите рычаг в равновесие, подвесив несколько грузов на разные крючки по обеим сторонам рычага.

2. Найдите сумму моментов сил, вращающих рычаг по часовой стрелке (условно «положительное» направление):

$$M_{\text{п}} = M_1 + M_2 + \dots + M_n.$$

3. Найдите сумму моментов сил, вращающих рычаг против часовой стрелки (условно «отрицательное» направление):

$$M_{\text{о}} = M_1 + M_2 + \dots + M_m.$$

4. Сравнивая положительные и отрицательные моменты сил, определите, насколько соответствуют экспериментально полученные данные результатам, рассчитанным по правилу моментов.

Сделайте вывод.

§ 38

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ

1. Какую бы машину мы ни взяли, каждой из них приходится совершать работу по преодолению различных сил сопротивления или трения (воздуха, жидкости, твердого тела). Таким образом, механизмы не могут полностью передать вырабатываемую энергию другим телам, которые они передвигают. В связи с этим вводятся понятия *общая* (или *полная*) *работа* и *полезная работа*.

Работа, производимая для приведения самого механизма в движение, называется общей, или полной, работой.

Работа, производимая механизмом по перемещению нужного тела, называется полезной работой.

Отношение полезной работы к полной работе называется коэффициентом полезного действия (КПД) механизма или машины. КПД обозначают греческой буквой η (читается «эта»):

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}}.$$

КПД обычно выражают в процентах, поэтому вышеприведенное отношение умножают на 100%:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} 100\%.$$

Учитывая прямо пропорциональную зависимость между работой и мощностью, КПД выражают и в виде отношения полезной мощности к полной мощности:

$$\eta = \frac{N_{\text{полезн}}}{N_{\text{полн}}} 100\%.$$

КПД машин и механизмов всегда меньше 1 (единицы), или 100%, так как полезная работа составляет лишь часть полной работы. Следовательно, невозможно создание вечных двигателей с КПД, равным 1, или 100%. Однако имеются возможности непрерывного приближения КПД машин и механизмов к 100%. Поэтому любое открытие в этом направлении является огромным достижением для науки.

В связи с уменьшением запасов топлива создание механизмов и установок, экономно потребляющих энергию, является одной из главных задач современности. В настоящее время к механизмам с высоким КПД относятся часы. Их КПД составляет выше 90%.

Пример решения задачи

Задача. Приложив к длинному плечу рычага силу 2,5 кН, подняли груз массой 1 т, подвешенный на коротком плече рычага. Груз подняли на высоту 0,8 м, при этом точка приложения движущей силы опустилась на высоту 4 м. Определите КПД рычага.

Дано:	СИ	Теоретический анализ условия задачи
$m = 1 \text{ т}$ $F = 2,5 \text{ кН}$ $h_1 = 0,8 \text{ м}$ $h_2 = 4 \text{ м}$ $g = 9,8 \text{ Н/кг}$	10^3 кг 2500 Н	$\text{КПД рычага: } \eta = \frac{A_{\text{полезн.}}}{A_{\text{полн.}}} \cdot 100\%$ Полезная работа: $A_{\text{полезн.}} = Ph_1$ Полная работа: $A_{\text{полн.}} = Fh_2$ Вес груза: $P = gm$
$\eta - ?$		

Решение.

$$P = m \cdot g = 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 10^3 \text{ кг} \approx 10^4 \text{ Н.}$$

$$A = P \cdot h_1 = 10^4 \text{ Н} \cdot 0,8 \text{ м} = 8 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$$

$$A_n = F \cdot h_2 = 2500 \text{ Н} \cdot 4 \text{ м} = 10^4 \text{ Дж.}$$

$$\eta = \frac{8 \cdot 10^3 \text{ Дж}}{10^4 \text{ Дж}} 100\% = 80\%.$$

Ответ: $\eta = 80\%$.



Вопросы

1. В чем отличие полной работы от полезной?
2. Как определяется коэффициент полезного действия механизмов или машин?
3. Реально ли создание «вечного двигателя»?



Упражнения 5.7

1. По наклонному помосту длиной 4,5 м на высоту 1,5 м втянут ящик массой 30 кг. Сила трения ящика о помост составляет 20 Н. Каковы полезная и полная работы, произведенные при этом, а также КПД помоста?
2. Двигатель насоса, развивая мощность до 25 кВт, поднимает 100 м³ нефти за 8 мин на высоту 6 м. Найдите КПД установки.



Практические задания

1. Рассчитайте работу, совершенную вами при ходьбе из дома в школу и обратно, если при каждом шаге в среднем совершается работа в 20 Дж.
2. Определите работу, совершаемую вами при подъеме по лестнице между соседними этажами. Расстояние между этажами определите с помощью отвеса с метровыми метками, а массу собственного тела определите с помощью напольных весов.
3. На поверхности стола лежат 10 шашек или столько же фишек домино. Определите работу, совершаемую вами при укладке шашек (фишек) в вертикальную стопку. Для определения работы воспользуйтесь миллиметровой линейкой, самодельным динамометром или бытовыми пружинными весами.
4. Определите работу и мощность, развиваемую вами при подъеме по вертикальному шесту или канату, при подтягивании на перекладине. Для определения работы и мощности воспользуйтесь сантиметровой лентой или отвесом с метровыми делениями, часами с секундной стрелкой.
5. На чистую поверхность миллиметровой линейки положите фишку домино. Линейку расположите под таким наклоном, чтобы фишка медленно скользила

по линейке. Измерьте высоту наклонной плоскости, массу фишки. Определите потенциальную энергию фишки в момент начала скольжения. Назовите виды превращения энергии в этом опыте.

6. Измерьте сантиметровой лентой расстояние от горизонтально вытянутой руки до пола. В эту руку возьмите мяч, предварительно измерив его массу самодельным динамометром или бытовыми пружинными весами, и отпустите его. По данным измерения определите потенциальную и кинетическую энергию мяча в самой низкой точке траектории. При повторном опыте проследите за неоднократными превращениями механической энергии мяча.
7. Измерьте с помощью миллиметровой линейки плечи рычагов ножниц, гаечного ключа, ключа дверного замка, водопроводного крана и т. д. Определите выигрыш в силе данных простых механизмов.

Лабораторная работа № 10

Определение работы, совершаемой при равномерном поднятии тела. Определение КПД наклонной плоскости

Цель работы: показать, что полезная работа, совершаемая при равномерном поднятии тела на высоту h по вертикали, меньше полной работы, совершаемой при поднятии этого же тела на ту же высоту по наклонной плоскости.

Приборы и материалы: доска, динамометр, измерительная лента или линейка, деревянный брусок, штатив с муфтой и лапкой.

Задание 1. Определение работы, совершаемой при равномерном подъеме тела на высоту h по вертикали.

Ход работы.

Чтобы равномерно поднять тело вертикально вверх на высоту h , сила F_1 совершает работу A_1 :

$$A_1 = F_1 h.$$

Сила F_1 , равномерно поднимающая тело вертикально вверх, равна силе тяжести: $F_1 = P$. Ее необходимо измерить с помощью динамометра:

- 1) выберите высоту h , на которую нужно поднять брусок;
- 2) измерьте динамометром силу тяжести бруска;
- 3) вычислите работу, совершаемую при равномерном подъеме бруска на высоту h по вертикали.

Задание 2. Определение работы, совершаемой при равномерном подъеме тела на высоту h по наклонной плоскости.

Ход работы.

Тело можно поднять на выбранную нами в предыдущем задании высоту не только по вертикали, но и по наклонной плоскости длиной l , приложив к нему силу F_2 . При использовании наклонной плоскости, согласно «золотому правилу» механики, проигрывая в расстоянии ($l > h$), выигрываем в силе ($F_2 < F_1$). Работа A_2 , совершаемая при использовании наклонной плоскости, равна: $A_2 = F_2 \cdot l$.

При отсутствии трения работы A_1 и A_2 равны между собой:

$$A_1 = A_2, \text{ или } F_1 \cdot h = F_2 \cdot l.$$

На практике невозможно избежать трения, поэтому полная работа A_2 больше полезной работы A_1 : $A_2 > A_1$.

1. Установите доску наклонно, как на рис. 5.19 (высота подъема и брусок остаются без изменения).
2. Измерьте длину наклонной плоскости l .
3. Прикрепив к бруску динамометр, равномерно двигайте брусок вверх по наклонной плоскости, измерьте силу тяги F_2 .
4. Вычислите работу A_2 , совершаемую при равномерном подъеме по наклонной плоскости.

Задание 3. Определение коэффициента полезного действия (КПД) наклонной плоскости.

Ход работы.

КПД наклонной плоскости равен отношению полезной работы A_1 к полной работе A_2 :

$$\eta = \frac{A_1}{A_2}, \text{ или } \eta = \frac{A_1}{A_2} \cdot 100\%.$$

1. Вычислите КПД наклонной плоскости.
2. Вычислите, какой выигрыш в силе дает наклонная плоскость при отсутствии трения. Сравните значение силы F_2 , полученное расчетным путем, со значением силы F_2 , полученным путем измерения динамометром.
3. Измените высоту наклонной плоскости и определите совершаемые работы (полезную и полную) и КПД наклонной плоскости для этого случая.
4. Результаты, полученные при выполнении всех заданий лабораторной работы, занесите в таблицу.

Номер опыта	Сила тяги по наклонной плоскости, F_2 (Н)	Сила тяжести, F_1 (Н)	Полная работа, совершаемая при движении бруска по наклонной плоскости, $A_2 = F_2 l$ (Дж)	Длина наклонной плоскости, l (м)	Высота, наклонной плоскости, h (м)	Полезная работа, совершаемая при поднятии бруска по вертикали, $A_1 = F_1 h$ (Дж)	КПД, наклонной плоскости η (%)

Сделайте выводы.

Самое важное в главе 5

1. Механическая работа – работа силы, совершаемая при перемещении тела:

$$A = F \cdot s.$$

Работа измеряется *джоулем*:

$$1 \text{ Джоуль (1 Дж)} = 1 \text{ Ньютон} \cdot 1 \text{ метр} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2. Мощность – работа, совершаемая за единицу времени:

$$N = \frac{A}{t}.$$

Единицей измерения мощности является *ватт*:

$$1 \text{ Ватт (1 Вт)} = \frac{1 \text{ Джоуль}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Дж/с.}$$

3. **Энергия** – физическая величина, характеризующая способность тела совершать работу.

4. **Кинетическая энергия** – энергия, которой обладает тело вследствие своего движения:

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2},$$

где m – масса движущегося тела; v – его скорость.

5. **Потенциальная энергия** – энергия, определяемая взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного и того же тела.

5.1. **Потенциальная энергия деформированной пружины:**

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2},$$

где k – жесткость пружины; x – абсолютное удлинение пружины.

5.2. **Потенциальная энергия тела, на которое действует сила тяжести:**

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

где g – 9,8 Н/кг; m – масса тела; h – высота тела над поверхностью другого тела, например Земли.

6. **Механическая энергия** – сумма кинетической и потенциальной энергий тела.

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}}.$$

7. **Закон сохранения механической энергии:** в замкнутой системе, где тела не взаимодействуют с внешними телами, а находятся только под действием силы тяжести или силы упругости, полная механическая энергия сохраняется:

$$E = E_{\text{к}} + E_{\text{п}} = \text{const.}$$

8. **Момент силы:**

$$M = F \cdot d,$$

где F – действующая на рычаг сила; d – плечо силы.

Момент силы измеряется в **ньютон-метрах**:

$$1 \text{ ньютон} \cdot 1 \text{ метр} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

9. **Условие равновесия вращающегося тела определяется правилом моментов:** тело, способное вращаться вокруг закрепленной оси, находится в равновесии, если сумма моментов сил, вращающих это тело по часовой стрелке, равна сумме моментов сил, вращающих его против часовой стрелки.

10. **«Золотое правило» механики:** при использовании простых механизмов во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.

11. **Коэффициент полезного действия** – отношение полезной работы механизма к его полной работе.

$$\eta = \frac{A_{\text{полезн}}}{A_{\text{полн}}} 100\%,$$

где $A_{\text{полезн}}$ – полезная работа; $A_{\text{полн}}$ – полная работа.



ГЛАВА

6



КОСМОС И ЗЕМЛЯ



ПРОГРАММНЫЕ ЦЕЛИ:

- сравнивать геоцентрическую и гелиоцентрическую системы;
- систематизировать объекты Солнечной системы;
- объяснять смену времен года и длительность дня и ночи на разных широтах.

В этой главе рассматриваются важнейшие для понимания языка астрономии, физики и других мировоззренческих наук основные понятия: **возникновение и строение Вселенной, геоцентрическая система мира, гелиоцентрическая система (Солнечная система), смена времен года, длительность дня и ночи, календарь.**

§ 39

НАУКА О НЕБЕСНЫХ ТЕЛАХ

1. Наука, которая изучает небесные тела, называется **астрономией**. *Астрономия* – греческое слово, *астро* означает «звезда», а *номос* – «закон». Как и физика, астрономия – древняя наука о природе. Ее развитие было вызвано жизненными потребностями людей. В те времена отсутствовали приборы и средства для определения времени и ориентирования в пространстве. Поэтому люди вели наблюдения за Луной, Солнцем и другими звездами; по их движению определяли продолжительность года и время суток, а также находили ориентиры во время путешествия. Так практическая нужда стала самым главным толчком развития астрономии.

2. *Основная цель астрономии заключается в установлении законов движения и развития небесных тел.* К небесным телам относятся звезды, планеты и их спутники, астероиды (малые планеты), кометы, метеориты, а также межзвездное облако, состоящее из газов и пыли. Современная астро-

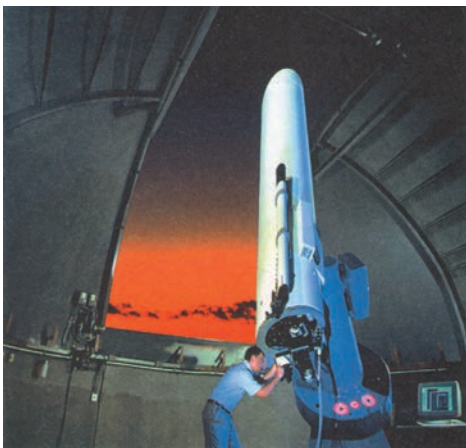


Рис. 6.1. Наземный телескоп

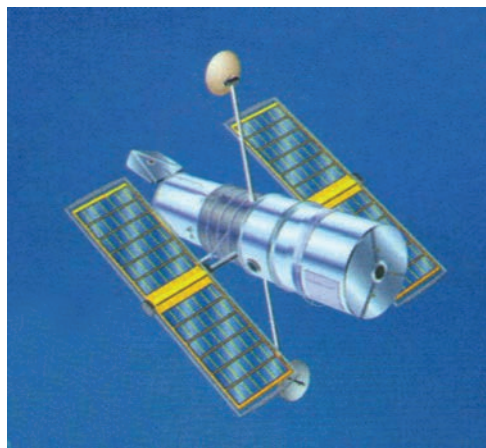


Рис. 6.2. Космический телескоп

номия, расширив рамки своих исследований, превратилась в науку, состоящую из многих разделов.

В результате интеграции физической и астрономической наук появилась новая их отрасль – *астрономическая физика (астрофизика)*, которая изучает развитие и строение Вселенной. Достижения астрофизики впечатляют. Во многом они связаны не только с исследованиями, проводимыми с помощью разнообразных наземных аппаратов (рис. 6.1), но и с телескопами, выведенными в космическое пространство (см. рис. 1.9 и рис. 6.2). В результате накопленных фактов, полученных с помощью астрофизических аппаратов, и их теоретического анализа сложился новый научный взгляд на происхождение и структуру Вселенной.

Согласно этому взгляду, Вселенная возникла более чем 15 млрд. лет назад в результате взрыва невероятной силы, названного в науке «*Большим взрывом*». Ученые считают, что до данного явления ни «пространство», ни «время» не существовали, т. е. начало их возникновения также отсчитывается с момента рождения Вселенной.

3. В строении Вселенной самыми крупными объектами являются *галактики*. Благодаря внеземным телескопам и космическим обсерваториям были открыты несколько десятков миллиардов галактик. Одна из них – *наша Галактика* (рис. 6.3). Ее возраст составляет около 12 млрд. лет. *Солнце* является относительно небольшой звездой среди 200 млрд. звезд нашей Галактики, возраст около 5 млрд. лет. Ученые утверждают, что запасы ядерного «топлива» в недрах Солнца обеспечивают его существование еще на 5–10 млрд. лет. Солнце расположено на краю нашей Галактики. Оно вращается вокруг ее центра (ядра) со скоростью 250 км/с, затрачивая на один оборот *180 млн. лет*. Этот промежуток времени называется *одним галактическим годом*. Время, затраченное Землей на один оборот вокруг Солнца, называется *одним годом* (или просто *годом*).

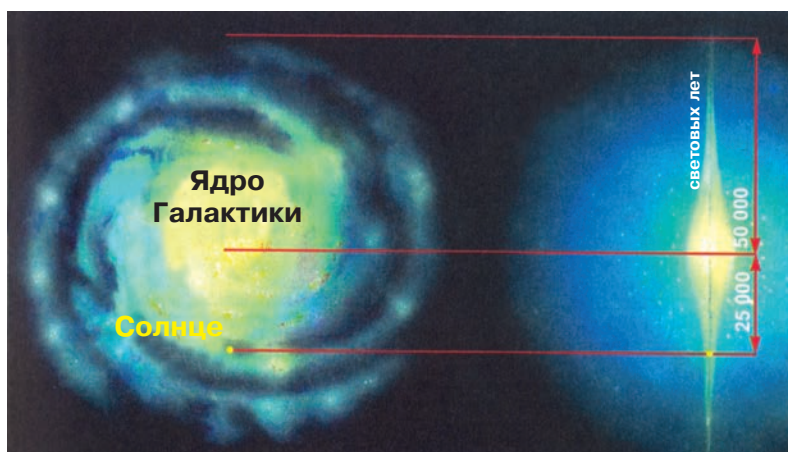


Рис. 6.3. Наша Галактика

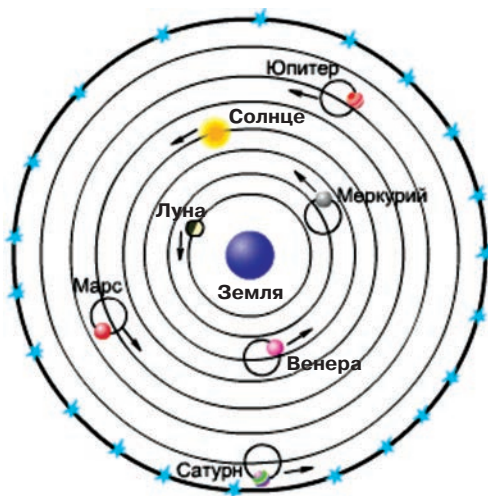


Рис. 6.4. Геоцентрическая система

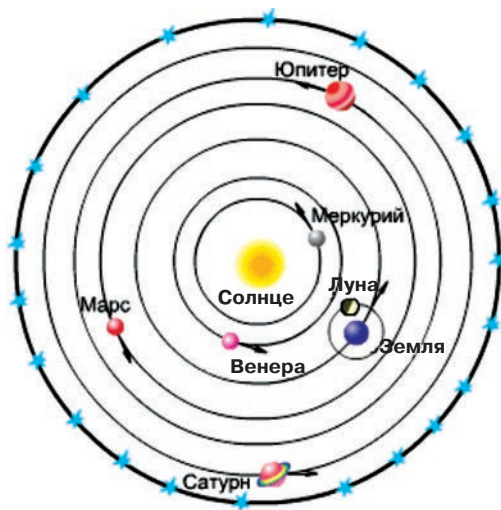


Рис. 6.5. Гелиоцентрическая система

4. До 1600–1700 гг. н. э. Земля считалась неподвижным центром мира (рис. 6.4). Такое строение мира называется *геоцентрической системой мира* (греч. *geo* – «земля»). Основателем такого взгляда на мир является Клавдий Птолемей.

Однако в процессе развития науки было доказано, что Земля – одна из планет, вращающихся вокруг Солнца (рис. 6.5). Таким образом, была создана *гелиоцентрическая система мира* (греч. *гелио* – «Солнце»). В результате дальнейшего развития астрофизики было установлено, что Солнце также не является центром мира. Это небольшая звезда, вращающаяся вокруг ядра нашей Галактики.

5. Польский ученый Николай Коперник впервые создал научную структуру Солнечной системы, согласно которой все планеты, в том числе и Земля, вращаются вокруг Солнца. Он обосновал несостоятельность геоцентрического взгляда Птолемея. Однако сторонники геоцентризма не соглашались с его гелиоцентрическими идеями. Коперник в течение 40 лет не осмеливался открыто публиковать свои труды. Лишь перед смертью в 1543 г. он смог переписать дрожащими руками свой только что опубликованный фундаментальный труд «О вращениях небесных сфер».

Таким образом, благодаря трудам целой плеяды гениальных ученых-астрономов была создана *гелиоцентрическая система* самой ближайшей к нам части мира, называемой *Солнечной системой*.

6. Космическое пространство является для физиков уникальной лабораторией. Так, получение безвоздушного пространства (глубокого вакуума) или доведение температуры тела до миллионов градусов в условиях Земли – трудноосуществимая задача. В космосе же для этого есть идеальные условия. Напри-



Рис. 6.6. Н. Армстронг на поверхности Луны



Рис. 6.7. Восход Земли (фото с Луны)



Рис. 6.8. Луноход на поверхности Луны

мер, на Луне нет воздуха, поэтому там можно проводить исследования без сложных установок, позволяющих получать глубокий вакуум.

Луна – естественный спутник Земли. Она является небесным телом, расположенным ближе всех к нашей планете. Впервые человек ступил на Луну в 1969 г. (рис. 6.6). Американские астронавты Н. Армстронг и Э. Олдрин были первыми, кто побывал на Луне. Они впервые сфотографировали Землю с поверхности Луны (рис. 6.7), любясь голубизной родной планеты на фоне черного космического пространства. Кроме того, Советский Союз впервые посадил на поверхность Луны автоматическую установку – луноход (рис. 6.8). Эта установка могла фотографировать поверхность Луны и отправлять лунный грунт вместе с другой установкой, которая возвращалась на Землю.

7. После того как Ю. А. Гагарин 12 апреля 1961 г. совершил первый полет в космос, стал быстро развиваться новый раздел астрономии – *космонавтика*. Космонавтика изучает движение искусственно созданных аппаратов в космическом пространстве.

Современная астрономия охватывает и ряд других сфер. Раздел астрономии, изучающий происхождение и развитие космических тел и их систем, называются *космогонией*.

Космогония отвечает на вопросы: когда и как возникли галактики, звезды и планеты, как они изменяются и развиваются.

Кроме того, раздел астрономии, изучающий происхождение Вселенной и ее общие свойства, называются *космологией*.



Из истории развития науки и техники

1. В развитие науки астрономии внесли огромный вклад многие ученые. В их авангарде также находились ученые – выходцы из Центральной Азии. Одним из них был Мухаммед Тарагай Улугбек из Самарканда.

Он рано познакомился с трудами таких греческих мудрецов, как Платон, Аристотель и Птолемей. Глубоко изучил труды знаменитых ученых Центральной Азии – аль-Фараби, аль-Бируни, Ибн Сины, Насирэддина Туси и др. Всю свою



Рис. 6.9. Подземная часть обсерватории Улугбека



Рис. 6.10. Оптическая трубка Галилея

интеллектуальную энергию Улугбек направил на изучение небесных тел. С этой целью он построил в Самарканде самую большую для своего времени обсерваторию. Ее подземная часть до сих пор сохранилась в Самарканде (рис. 6.9). В медресе читали лекции по астрономии и математике выдающиеся ученые Центральной Азии и арабского Востока, такие как аль-Каши, Казы-Заде Руми, аль-Кусшы. Они и другие известные ученые под руководством самого Улугбека проводили в обсерватории исследования звездного неба.

В результате многолетних научных исследований появился солидный фундаментальный труд «Новые астрономические таблицы». Здесь, кроме теоретических основ астрономии, был приведен каталог 1018 звезд с точными небесными координатами их расположения. Согласно измерениям Улугбека, один земной год состоит из 365 дней 6 ч 10 мин 8 с. По современным оценкам, неточность в этих измерениях составляет менее одной минуты.

Научные труды Улугбека противоречили устоявшимся религиозным канонам, утверждавшим, что центром мира является неподвижная Земля. Улугбек умер насильственной смертью как еретик. Спустя 151 год в Риме за «еретические» взгляды казнили другого великого астронома – Джордано Бруно. Основные труды Улугбека были вовремя тайно вывезены его учеником аль-Кусшы в Стамбул. Впоследствии они неоднократно издавались в Европе, став достоянием мировой науки.

О внуке знаменитого властелина Тамерлана Улугбеке его соотечественник великий узбекский поэт Алишер Навои оставил следующие слова: «...Султан Улугбек – потомок эмира Тимура... Когда речь идет об Улугбеке, небо низко склоняется, звезды близко подступают. Открытые им законы и правила всегда будут служить человечеству».

2. Значительный вклад в развитие астрономии внес и другой ученый из Центральной Азии – Абу Рейхан Бируни, родившийся в Хорезме. Из 150 своих трудов 50 он посвятил астрономии. Бируни сомневался в правильности геоцентрической системы мира, созданной Пто-

лемеем и являлся сторонником *гелиоцентризма*. Из истории науки известно, что Бируни за 500 лет до Н. Коперника впервые высказал мысль о движении Земли вокруг Солнца. Он написал о движении и шарообразной форме Земли, о методе определения ее радиуса, сделал первый глобус. В течение 20 лет наблюдал за движением Солнца. Считая Солнце огненным шаром, Бируни высказал мнение о том, что корона Солнца имеет сходную с дымом природу.

Бируни предложил множество способов ориентирования по звездам. Обобщая накопленные материалы и наблюдения, в 1031 г. он написал книгу, в которой были изложены различные проблемы астрономии. Эта книга вновь была опубликована на арабском языке в 1887 г. в Лондоне. Во многих странах сочинения Бируни несколько веков служили главными учебниками по астрономии.

3. Итальянский ученый Галилео Галилей (1564–1642) впервые исследовал небесные тела с помощью специального увеличительного прибора – оптической трубки (рис. 6.10), созданной собственными руками.

Галилей в процессе длительного наблюдения обнаружил постоянное смещение солнечных пятен на его диске. Это было доказательством того, что Солнце вращается вокруг своей оси. Кроме того, он определил, что вокруг Юпитера вращаются четыре его спутника. Точно так же Луна является спутником Земли, а все планеты со своими спутниками вращаются вокруг Солнца, утверждал Галилей.

Открытия Галилея нанесли сокрушительный удар по **геоцентрической системе Птолемея**, согласно которой центром мира является неподвижная Земля, а остальные светила вращаются вокруг нее. Им была обоснована правильность гениальных догадок таких его предшественников, как Абу Рейхан Бируни, Джордано Бруно и Николай Коперник, утверждавших, что *Земля и другие планеты вращаются вокруг Солнца*. Однако в 1633 г. на церковном суде ему пришлось «отречься» от своих взглядов. Иначе его бы сожгли на костре, как когда-то Джордано Бруно.



Вопросы

1. Какие обстоятельства способствовали развитию астрономии?
2. Какова основная цель астрономии? Что она изучает?
3. Какие ученые Центральной Азии внесли значительный вклад в развитие астрономии?
4. В чем заключается главная особенность астрономических открытий Галилея?
5. Каких ученых можно называть основоположниками астрономической науки?
6. Как называется учение Птолемея и в чем заключается его основной смысл?
7. Какие ученые не соглашались с учением Птолемея? Что вы знаете об их научных трудах и судьбах?
8. В чем заключается главный смысл гелиоцентрической системы мира? Почему ее связывают с именем Коперника?

§ 40

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА

1. Небесные тела (планеты, астероиды, кометы, метеориты), совершающие движения вокруг Солнца, составляют *Солнечную систему* (рис. 6.11; с. 1 и 3 форзацев). Среди них и по объему, и по научной значимости особое место занимают планеты.

В состав Солнечной системы входят восемь планет (рис. 6.12). Они обращаются вокруг Солнца по эллиптическим орбитам. Начиная с ближайшей к Солнцу, они называются: Меркурий (1), Венера (2), Земля (вместе с Луной) (3), Марс (4), Юпитер (5), Сатурн (6), Уран (7) и Нептун (8).

Невооруженным глазом можно увидеть всего пять планет: Меркурий, Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн. По внешнему виду планету трудно отличить от звезды, тем более что звезды, как правило, на ночном небе выглядят ярче планет. Планеты относятся к числу светил, которые не только участвуют в суточном вращении небесной сферы, но еще и смещаются (иногда незначительно) на фоне зодиакальных созвездий. С этой особенностью планет связано и само слово «планета», так как древние греки планетой называли «блуждающие» светила.

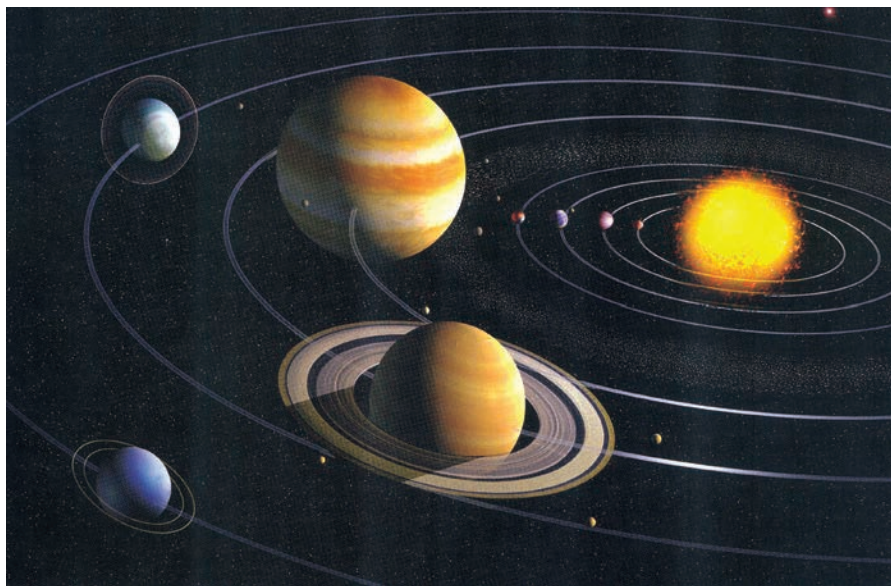


Рис. 6.11. Солнечная система

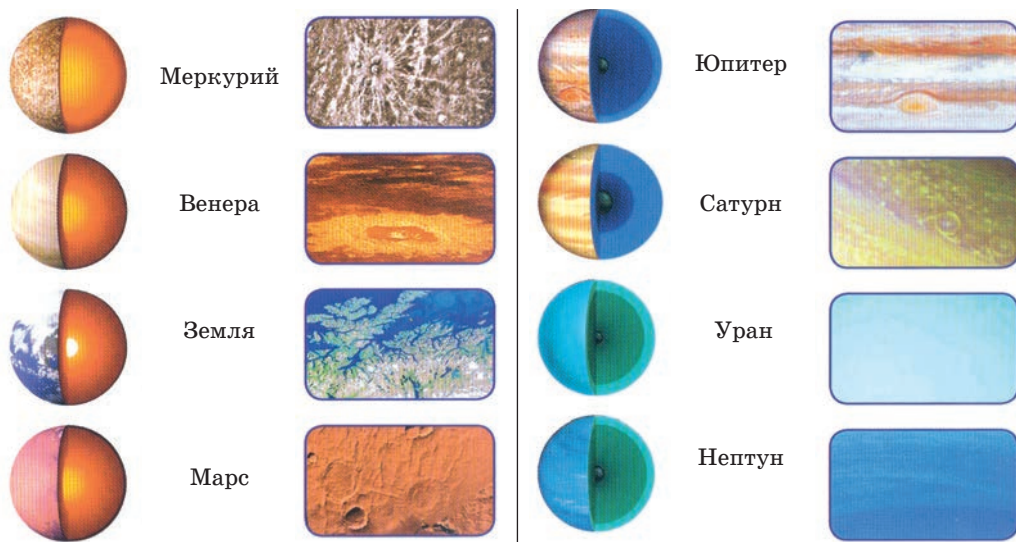


Рис. 6.12. Планеты

Самая близкая к Солнцу планета – **Меркурий** (по-казахски *Болпан* или *Кіші Шолпан*). Из-за близкого расположения к Солнцу его орбита меньше орбиты Земли (рис. 6.12), поэтому время его обращения вокруг Солнца меньше по сравнению с обращением Земли. Наблюдать за ним трудно. Тем не менее, по данным последних радионаблюдений, Меркурий вращается очень медленно. Солнечные сутки на этой планете равны приблизительно 176 земным суткам, т. е. день и ночь здесь делятся по 88 земных суток. Меркурий не может удерживать атмосферу вокруг себя, так как он очень мал и по размеру, и по массе.

Из-за близости к Солнцу и отсутствия плотной атмосферы температура на этой планете претерпевает резкие колебания. Например, днем температура здесь выше $+300^{\circ}\text{C}$, а ночью ниже -200°C . Отсутствием плотной атмосферы объясняется то, что на Меркурии нет облаков, небо темное, звезды горят ярко, отчетливо виднеется громадная корона Солнца.

Венера (по-казахски *Шолпан*), имеющая примерно одинаковые с Землей размеры и массу, с древнейших времен обращала на себя особое внимание ученых. Однако из-за того, что ее окружает плотный слой белых облаков, определение ее природы и движения с помощью оптических наблюдений затруднено. И все же в результате радионаблюдений удалось получить неожиданную информацию о ней. Оказалось, что Венера, в отличие от всех других (за исключением Урана) планет, вращается вокруг своей оси в направлении, обратном ее движению вокруг Солнца. Солнечные сутки на Венере равны примерно 118 суткам на Земле.

Земля – третья по удаленности от Солнца планета. Вы, конечно, знаете, что Земля за сутки делает один оборот вокруг своей воображаемой оси, а за год – один полный оборот вокруг Солнца.

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси воды рек подмывают правые их берега, воздушные вихри и ветры в Северном полушарии направлены направо, а в Южном полушарии – налево.

Земля движется вокруг Солнца по эллиптической орбите. Одним из доказательств ее обращения вокруг Солнца является значительное смещение близко расположенных к нам звезд. Впервые такие смещения были обнаружены лишь в 30-х годах XIX в.

Времена года сменяются из-за того, что Земля обращается вокруг Солнца. Ось Земли наклонена к плоскости ее орбиты, и при движении Земли вокруг Солнца ось ее остается параллельной самой себе.

В соответствии с положением Земли на определенных участках орбиты в Южном и Северном полушариях изменяются угол падения солнечных лучей и объем поступающего тепла. Поэтому, когда в Южном полушарии лето, в Северном – зима.

Марс (по-казахски *Аңырақай* или *Қызыл жұлдыз*) по диаметру в два раза меньше Земли. В последние годы благодаря автоматическим станциям-лабораториям, направленным на Марс, количество сведений о нем значительно возросло. По команде с Земли автоматические станции фотографируют поверхность планеты и проводят многочисленные научные измерения, передают полученную информацию на Землю по радио- и телеканалам.

Согласно современным исследованиям, продолжительность года на Марсе в 2 раза больше, чем на Земле. На Марсе также происходит смена времен года, поскольку его ось вращения, как и ось вращения Земли, наклонена к плоскости его орбиты. Продолжительность суток на Марсе установлена с высокой точностью и составляет 24 ч 37 мин 23 с. Самая высокая температура в летние дни на Марсе $+20^{\circ}\text{C}$, а зимой температура понижается до -125°C . Атмосфера Марса, состоящая в основном из углекислого газа, почти в 100 раз разреженнее атмосферы Земли.

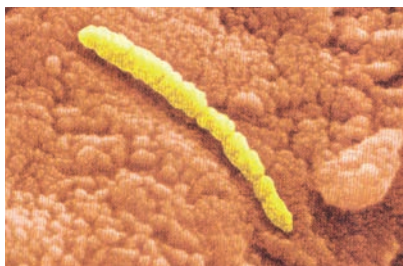


Рис. 6.13. Окаменевший остов «живого существа»

Ученые полагают, что на Марсе возникла жизнь. Исследуя метеорит, прилетевший с Марса, ученые обнаружили трубчатую структуру, похожую на земного дождевого червя (рис. 6.13). Некоторые считают это ископаемым остатком марсианского организма.

Среди планет-гигантов наиболее изучен **Юпитер** (казахское название – *Есек-қырған*). По диаметру он в 11 раз больше Земли, по массе – в 300 раз. Период его обращения вокруг Солнца равен примерно 12 годам. На Юпитере вообще не происходит смены вре-

мен года, поскольку ось этой планеты перпендикулярна плоскости ее орбиты. Продолжительность суток на Юпитере – 9 ч 50 мин. Он, как и все планеты-гиганты, очень быстро вращается вокруг своей оси.

Одним из особых образований Солнечной системы является планета **Сатурн** (по-казахски *Қоңырқай*). Толщина широкого кольца вокруг Сатурна

составляет несколько километров. Кольцо расположено в экваториальной плоскости планеты. Эта плоскость наклонена к плоскости его орбиты под углом 27° . При совершении Сатурном одного оборота вокруг Солнца за 30 лет его кольцо иногда видно отчетливо, а иногда видна только его грань. Тогда кольцо Сатурна можно увидеть в виде тонкой линии только с помощью большого телескопа.

Ось *Урана* образует с плоскостью орбиты незначительный угол, равный 8° , поэтому он вращается «лежа на боку». От этого на планете происходит резкая смена времен года. Продолжительность года на Уране равна 84 земным годам. Уран, как и Венера, вращается вокруг своей оси в направлении, обратном вращению всех остальных планет.

Убедительным примером научных достижений является открытие планеты *Нептун* путем теоретических прогнозов и расчетов. Урбен Леверье во Франции и Джон Адамс в Англии в одно и то же время произвели очень точный математический расчет места, размеров и орбиты неизвестной планеты, «возмущающей» орбиту Урана. В течение длительного времени Уран считался самой крайней планетой Солнечной системы.

Эта неизвестная планета была обнаружена с помощью телескопа в 1846 г. именно там, где должна была находиться по расчетам Леверье и Адамса. Планета получила название Нептун.

18 февраля 1930 г. Клайд Томбо в Ловелловской обсерватории в Америке нашел еще одну новую планету Солнечной системы. Эта планета была названа *Плутоном*. На фотоснимках, полученных с помощью мощных телескопов, Плутон смотрится как маленькая слабая звезда. Ее диаметр меньше 3000 км, она находится на расстоянии примерно 6 млрд. км от Солнца. Двигаясь очень медленно, Плутон делает один оборот вокруг Солнца за 248 лет.

До последнего времени Плутон считался самой маленькой планетой Солнечной системы. Однако решением Международного астрономического союза (Прага, август 2006 г.) Плутон отнесен к карликовым планетам, т. е. к астероидам, и ему присвоен соответствующий официальный номер 134 340.

2. В Солнечную систему, кроме планет, входят также многочисленные астероиды (рис. 6.14), чуть меньшего размера кометы (рис. 6.15 и 1-й форзац, где показана орбита кометы Галлея), а также относительно «небольшие» метеориты и другие тела. Однако и эти небольшие тела представляют огромную опасность для жизни на Земле. Так, например, Тунгусский метеорит, упавший в 1907 г. в Сибири, вызвал мощное землетрясение, повалил сотни квадратных километров таежного леса, вызвал невиданный пожар, ударная волна от взрыва три раза обогнула земной шар, окутав Землю дымом и пылью. Метеорит, упавший в Америке (штат Аризона) в 1891 г., оставил огром-

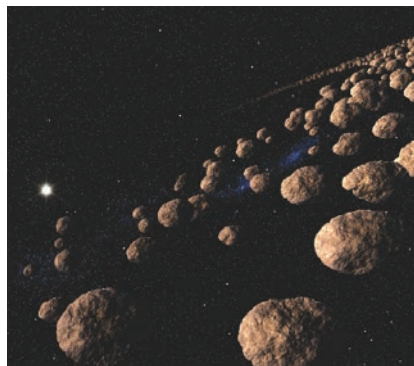


Рис. 6.14. Астероиды



Рис. 6.15. Комета

ный кратер диаметром 1265 м, а диаметр кратера, образованного от удара метеорита, упавшего в Австралии в 1947 г., составил 840 м.

В настоящее время планеты Солнечной системы и их спутники всесторонне исследуются учеными с помощью космических летательных аппаратов. Особенно большой интерес вызывает соседняя к Земле планета Марс. Все реальней становится мечта, наполненная жизнеутверждающей надеждой, что в ближайшие десятилетия представители человечества ступят на его поверхность. Да, действительно: «Надежда является опорой всего мира», – утверждал Абай. Великий провидец Бухар жырау был убежден,

что: «Не иссякнет человеческая мечта и тогда, когда, оседлав лунный луч, мчимся между звездами».



Вопросы

1. Какие небесные тела входят в Солнечную систему? Почему их называют телами Солнечной системы?
2. Что означает слово «планета»? Почему планеты так называют?
3. В чем особенность Урана и Венеры по сравнению с другими планетами?
4. Чем вызван особый интерес к планете Марс?



Практические задания

1. Используя глобус, объясните, как происходит смена времени суток: утро, день, вечер, ночь.
2. Соберите дополнительные сведения о каждой планете и обсудите их на заседаниях физического кружка.



Теоретическое исследование



Рис. 6.16.
Метеоритный кратер

Ваши знания в объеме курса физики 7 класса вполне позволяют определить самую минимальную энергию любого метеорита, упавшего на Землю, по размерам оставленного им кратера. Определите, какова кинетическая энергия метеорита, оставившего на территории Америки кратер диаметром 1265 м (рис. 6.16). Масса метеорита неизвестна. Среднестатистическая скорость метеорита – 20 км/с. Плотность грунта – 1500 кг/м³. По одной из гипотез при взрыве грунт почвы, занимавший объем полусферы кратера, был поднят на высоту его диаметра, иначе кратер не образовался бы. Часть грунта выбросило за борт, часть снова осела на дно кратера. В своих исследованиях оцените также массу упавшего метеорита.

1. Пристальные наблюдения за движением Солнца, Луны и ряда звезд в глубокой древности служили основанием для счета времени и создания различных календарей. По восходу и заходу некоторых звезд определялось начало смены времен года. Календари, построенные на основе таких наблюдений, позволяли людям заблаговременно организовать сельскохозяйственные работы.

Календарь является системой счетов промежутков времени, составленной на основе периодически повторяемого движения небесных тел. Основными единицами измерения времени календарной системы принято считать *сутки*, *месяц* и *год*, определяемые астрономическими наблюдениями. *Сутки* – промежуток времени полного оборота Земли вокруг своей оси относительно системы отсчета, связанной с каким-либо небесным телом. Если в качестве тела отчета взято Солнце, то речь будет идти о *солнечных сутках*, а если взята другая звезда – о *звездных сутках*. Земляне пользуются постоянными *средними солнечными сутками*, которые составляют 24 часа.

Земля за 365 суток 5 часов 48 минут 46 секунд (т. е. за 365, 2422 суток) по орбите один раз обращается вокруг Солнца. Этот промежуток времени называется *тропическим годом* (вкратце – *годом*). За это время Солнце два раза подряд проходит через весеннее равноденствие. Как правило, промежуток времени, равный $1/12$ длительности тропического года, называется *одним месяцем*.

2. Изменение времен года (весна, лето, осень, зима) зависит от движения Земли по орбите вокруг Солнца (рис. 6.17). Земная ось наклонена к плоскости орбиты на 23,5 градуса. При движении вокруг Солнца Земля оказывается обращенной к нему попеременно то Северным, то Южным полушарием. Поэтому, когда Северное полушарие из-за наибольшего наклона к Солнцу получает больше энергии, там наступают более теплые времена года. В Южном полушарии в это время устанавливаются относительно холодные времена года. А когда в процессе орбитального движения изменяется положение Земли относительно Солнца, в Северном полушарии наступает зима, а в Южном – лето.

Изменение дня и ночи происходит из-за вращения Земли вокруг своей оси. Земля, движущаяся по орбите вокруг Солнца, одновременно вращается и вокруг своей оси, совершая полный оборот за 24 часа. Из-за наклона земной оси продолжительность дня и ночи на разных широтах разная, за исключением дней весеннего и осеннего равноденствия. В году есть два дня, когда

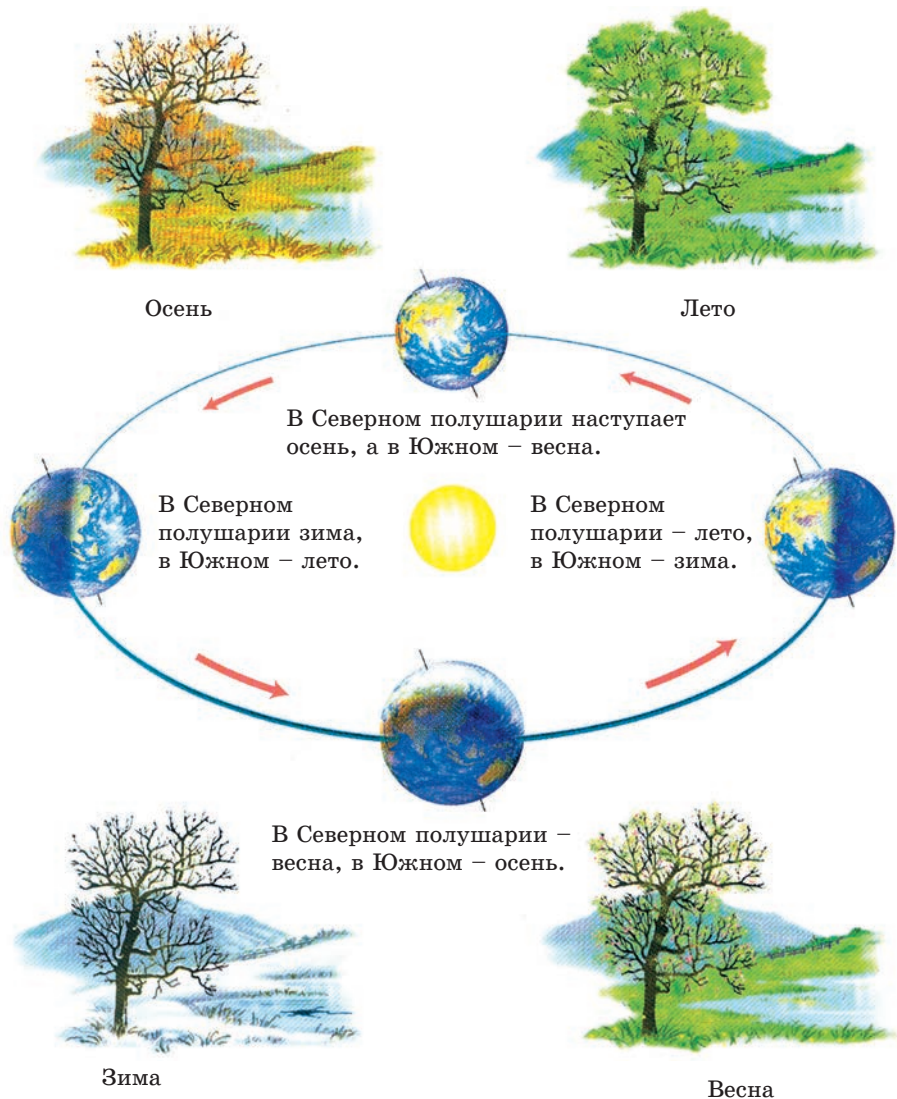


Рис. 6.17. Времена года

ось Земли принимает вертикальное положение и оба полушария освещаются равномерно. В такие дни во всем мире день по продолжительности равен ночи: 20 или 21 марта (день весеннего равноденствия) и 22 или 23 сентября (день осеннего равноденствия).

Дни летнего и зимнего солнцестояния – это самые длинные и самые короткие дни в году. В Северном полушарии летнее солнцестояние приходится на 20 или 21 июня, а зимнее – на 21 или 22 декабря. В Южном полушарии все наоборот.

3. Самый древний календарь – *Лунный*. Он появился несколько тысяч лет до нашей эры. Фазы Луны каждый раз повторяются через 29,53 суток. Этот отрезок времени называется *лунным месяцем*. Относительно звезд Луна возвращается на прежнее место через 27,32 суток. Этот период называется *звездным месяцем*. Согласно этому календарю начало каждого месяца по мере возможности корректировалось с новолуниями. Нечетные месяцы состоят из 30 суток, а четные – из 29. Следовательно, средняя продолжительность каждого месяца – 29,5 суток. Из-за того что этот промежуток времени календарного месяца меньше, чем длительность лунного месяца (29,53 суток), возникает несоответствие между началом месяца и появлением новой Луны (новолунием). За 30 лет новолуние опережает начало календарного месяца на 11 суток. Поэтому для корректировки календаря за каждые 30 лет 11 раз вводится так называемый *високосный год*. В последний месяц каждого високосного года добавляются одни сутки.

4. Позже появился *календарь, основанный на движении Солнца*. При его создании ставились две цели. Во-первых, календарную длительность года максимально приблизили к длительности тропического года; во-вторых, календарное весеннее равноденствие совместили с наступлением естественного весеннего равноденствия, т. е. 21 марта. В календаре Древнего Египета тропический год состоял из 365 суток. Началом года считалось первое раннее утреннее восхождение звезды Сириус. Оно совпадало с началом паводка на реке Нил. Год состоял из 12 месяцев, каждый месяц – из 30 суток, в конце года добавлялось еще 5 суток.

Подобные календари существовали и у персидских и сакских племен. В науке они известны как *согдийские календари*. Казахи, являющиеся потомками сакских племен, пользовались такими календарями. Они называли пять суток, которые прибавлялись в конце каждого года, «пять гостей», или «пять нижних чисел». Из согдийских календарей самым совершенным считался *календарь, созданный Омаром Хайямом (1040–1123)*.

Омар Хайям был не только яркой звездой поэтического небосклона Востока, но и известным математиком и выдающимся ученым-астрономом. В его календаре 33-летнего цикла каждый 11-й год считался високосным. Средняя продолжительность года составляла 365,24242 суток, длительность тропического года только на 22 секунды меньше.

5. История календаря, используемого в настоящее время на международном уровне, берет начало с 46 года до н. э. В тот год император Юлий Цезарь ввел единый календарь во всех странах, входящих в Римскую империю. Согласно этому календарю, названному *юлианским*, год состоял из 365,25 суток, т. е. длительность года больше длительности тропического года на 11 мин 14 с. Это расхождение, накапливаясь в течение 128 лет, дошло до одних суток, а в XVI в. уже составляло 10 суток. Таким образом, календарное весеннее равноденствие наступало 11 марта, раньше естественного равноденствия, т. е. 21 марта.

Для того чтобы вернуть весеннее равноденствие на свое естественное место и не допустить дальнейшего его смещение, в 1582 г. была проведена ка-

лендарная реформа. По новому календарю, названному *григорианским* (или новым способом), средняя продолжительность года по сравнению с длительностью тропического года оказалась больше всего лишь на 26 с. Однако не вторая цель – привести календарное весеннее равноденствие строго к 21 марта не была достигнута.



Исторические легенды, связанные с календарями

1. В календарях, наряду с такими временными отрезками, как *год, месяц, день, сутки*, применяются также состоящие из 7 дней и 12 лет, периодически повторяющиеся интервалы времени. Промежуток времени, повторяющийся каждые 7 дней, называется *неделей*, повторяющийся каждые 12 лет – *циклом мушел*.

Семь дней, из которых состоит неделя, носят название в известной вам последовательности: *понедельник, вторник, среда, четверг, пятница, суббота и воскресенье*. Число «7» воспринималось как «священное» еще в древности по числу известных тогда семи самых близких небесных светил (Солнце, Луна, Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн), от поведения которых зависело земное благополучие. У казахов данное поверие превратилось в житейскую традицию. Поэтому они, желая покоя умершим предкам и благополучия ныне живущим потомкам, по мере возможности организуют *ас* – угощение, принося в жертву семь баранов или крупных равноценных животных. Малоимущим дарят по семь ценных монет и раздают по семь лепешек. В весенние праздничные дни наступившего года варят в больших казанах питательный суп *наурыз* – *наурыз-коже* из семи различных продуктов и угощают всех, прощают все обиды.

2. 12-летний животный цикл – «*мүшел*», получивший распространение в начале среди кочевников-скотоводов Великой степи евразийского пространства еще до нашей эры, затем был принят в Монголии, Китае, Японии, Индии, Египте, Иране и других странах. Своеобразная особенность 12-летнего цикла и каждого входящего в него года, что научно доказано, заключается в адекватном отражении происходящих в природе изменений.

Казахи называли каждый год 12-летнего цикла следующим образом: 1) *тышқан* – *мышь*, 2) *сиыр* – *корова*, 3) *барыс* – *барс*, 4) *қоян* – *заяц*, 5) *ұлу* – *улитка*, 6) *жылаң* – *змея*, 7) *жылқы* – *лошадь*, 8) *қой* – *овца*, 9) *мешин* – *обезьяна*, 10) *тауық* – *курица*, 11) *ит* – *собака*, 12) *доңыз* – *свинья*.

Среди тюркоязычных народов (особенно казахов) возраст человека, год его рождения или смерти, а также время наступления важнейших событий издавна определялось годами 12-летнего животного цикла. Например, если возраст человека составляет 8 «*мүшел*» (97 лет), то считали, что он прожил уже сто лет и отмечали эту дату особым образом. О Бухаре жырау – Бухаре-глашатае говорили, что он «пламенными устами и языком острым как серп» отстаивал перед казахскими ханами интересы народа, и прожил долгую жизнь в 10 «*мүшел*», т. е. 121 год. Об использовании летоисчисления по «*мүшел*» степными тюркоязычными народами свидетельствуют и орхоно-енисейские надписи – древнейшие письменные культурные памятники. Так, надпись на надгробной плите знаменитого кагана-предводителя Култегина, умершего в январе 732 года, гласит: «Култегин скончался в *год Овцы*, камень установлен в *год Обезьяны*».

Казахи, а также целый ряд тюркских народов, принимая за один год период нахождения ребенка в утробе матери, приравнивали 1-й «*мүшел*» 13 годам, а дальше «*мүшел*» завершается через каждые 12 лет. Например, 2-й «*мүшел*» – 25 лет,

3-й «мүшел» – 37 лет и т. д. Чтобы определить год своего рождения по животному циклу, следует вычесть из него цифру «3», разницу разделить на «12». Остаток от деления и является порядковым номером 12-летнего цикла с соответствующим наименованием животного. Деление без остатка означает 12-й номер, т. е. *год Кабана*.

Определим, например, какому животному соответствует год человека, рожденного в 2004 году: $2004 - 3 = 2001$. Разделим 2001 на 12 и получим в остатке 9. Этому числу в 12-летнем цикле соответствует *год Обезьяны*.

3. День весеннего равноденствия в Северном полушарии, т. е. 22 марта, считался началом нового года. В этот период Великая степь пробуждается, окрашивается первыми полевыми цветами, на реках начинается ледоход, превращающий их в бурлящие полноводные потоки. Приход нового года ждут с нетерпением и люди, и животные. По легенде животные должны встречать Новый год, а людей обязали организовывать грандиозный праздник с угощением.

Предание гласит, что давным-давно, в незапамятные времена животные собрались, чтобы встретить Новый год. По договору первый год – начало 12-летнего цикла будет назван в честь того, кто первым заметит его появление. Верблюд, понадеявшись на свой рост, рассчитывал на первенство. Однако мышь, незаметно взобравшись ему на макушку, первой увидела приход года. Остальные животные встретили год в той последовательности, которая указана в 12-летнем цикле. Самонадеянный верблюд так и не заметил ни один год летосчисления по «мүшел» и от обиды и досады убежал в степь. С тех пор в марте на Наурыз верблюд начинает буйствовать, придирается и топтать первого встречного.

В Словаре тюркских наречий, составленном в 1072–1074 гг., Махмуд Кашгари приводит другую версию легенды о происхождении 12-летнего животного цикла.

Однажды один из тюркских ханов решил изучить опыт сражения, произошедшего много лет назад. Однако никто не смог установить его точное время, произошла нешуточная путаница. Посоветовавшись с мудрецами-абызами своей общины, хан повелел на основании 12 месяцев, соответствующих 12 знакам зодиака, каждый год 12-летнего цикла назвать именем животного. И вот весной на Наурыз охотники и погонщики снагнали домашних и диких животных к полноводной реке *Иле*, на которой начался весенний ледоход. Реку переплыли 12 животных, причем первой оказалась мышь, легко перешедшая по скользкому нагромождению льда. Таким образом, первый год 12-летнего цикла был назван годом Мыши, а остальные годы получили название в той последовательности, в какой животные переплыли реку.



Вопросы

1. Какие единицы длительности времени принимаются в календарной системе счета?
2. Как можно объяснить изменение времен года и смены дня и ночи?
3. Какими астрономическими приемами определяются новолуние и звездные месяцы? Какова их длительность?
4. Как определяется длительность тропического года? Какова его длительность?
5. Из скольких суток состоял год в календаре Древнего Египта?
6. Длительность года не кратна целому числу суток. Какие способы использовали для того, чтобы в календарях также были учтены доли суток? Ответы подтвердите примерами.
7. К какому противоречию привело длительное применение юлианского календаря по старому способу?



Самое главное в главе 6

1. **Геоцентрическая система мира** – неверное учение, утверждавшее, что центром всего мироздания (Вселенной) является неподвижная Земля.
2. **Гелиоцентрическая система** – научно обоснованное учение о строении Солнечной системы, согласно которому Земля и другие планеты (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) вращаются вокруг Солнца.
При этом Солнце также не является центром мира. Солнце со своими планетами вращается вокруг центра нашей Галактики, которая вместе с Солнцем содержит более 200 млрд. звезд. Количество других галактик, таких как наша, исчисляется десятками миллиардов.
3. **Смена времен года и длительность дня и ночи** объясняется движением Земли вокруг Солнца по вытянутой (не круговой) орбите и вращением Земли вокруг своей оси.
4. **Календарь** – система счетов промежутков времени, составленная на основе периодически повторяемого движения небесных тел.

Ответы к упражнениям

- Упражнения 1.1. 11) $1 \cdot 10^{-3}$ см.
- Упражнения 2.1. 4) 4500 км; 5) 500 с. 6) 25 м/с; 7) 70 км/ч; 8) 48 км/ч;
9) 20 км/ч; 21 км/ч.
- Упражнения 2.2. 4) $-2,5$ см/с; 5) $5,5$ км/ч.
- Упражнения 3.1. 7) 30 кг.
- Упражнения 3.2. 2) $1,5 \cdot 10^4$ кг/м³; 3) 10 дм³; 4) $9,7 \cdot 10^3$ кг/м³; 5) 1,2 кг;
6) 26 кг; 7) 0,012 м³; 12 кг.
- Упражнения 3.3. 1) 1 т; 2) 20 кг; 196,64 Н/м²; 195,6 Н/м²; 3) 98 Н; 6) на Марсе;
7) 3,2 Н.
- Упражнения 3.4. 1) 98,3 Н; 97,8 Н; 2) 550 Н; 3) 64 Н; 4) 80 Н.
- Упражнения 3.5. 1) 14 см; 2) $7 \cdot 10^3$ Н/м; 3) да, нет; 4) 126 мм.
- Упражнения 3.6. 2) 500 Н; 3) 210 Н; 4) 0,4; 5) 0,5.
- Упражнения 3.7. 1) 350 Н; 3) 20 Н; 5 Н; 30 Н; 20 Н.
- Упражнения 4.1. 1) 5 кПа; 2) 3, 3 кПа; 3) 47 кПа.
- Упражнения 4.2. 1) ≈ 6 кПа; $\approx 4,8$ кПа; ≈ 82 кПа;
2) $\approx 112\ 000$ кПа; 3) $\approx 92,7$ кПа.
- Упражнения 4.4. 1) 156 раз; 2) 300 Н; 3) 90 раз, 100 раз.
- Упражнения 4.6. 1) 1 Н; 3) 0,5 Н; 4) 3,7 кН; 5) 0,36 Н; 0,18 Н; 6) $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³;
7) 10^4 кг/м³; 8) $1,6 \cdot 10^4$ кг/м³; 9) 5 кг.
- Упражнения 5.1. 1) $A = 400$ кДж; 2) 45 кДж; 3) $\approx 1,2 \cdot 10^3$ кДж.
- Упражнения 5.2. 1) $N = 41$ кВт; 2) $A = 18$ кДж; 3) $N \approx 10$ МВт; 4) $F = 60$ кН;
5) $V = 200$ м³.
- Упражнения 5.3. 1) $E_k = 2,3 \cdot 10^9$ Дж = 2,3 ГДж; 2) $E_k = 2,9$ кДж;
3) $A = \Delta E_k = 240$ кДж; $S = 4$ м; 4) $E_1 = 2 E_2$.
- Упражнения 5.4. 1) $A = 6,86$ кДж; 2) $E_{n1} = 3,9$ кДж; $E_{n2} = 24,5$ Дж;
3) $E_n = 417,7$ МДж. 4) $E_n = 90$ Дж; 5) $A_1 = E_{n1} = 37,5$ Дж;
 $A_2 = \Delta E = 37,5$ Дж; $E_{n2} = 62,5$ Дж; 6) $k = 10^5$ Н/м.
- Упражнения 5.5. 1) $A = \Delta E = 1,4$ кДж; $F = 2,9 \cdot 10^4$ Н = 29 кН;
2) $E_n = 3 \cdot 10^9$ Дж; 3) $A = W = 165$ ГДж.
- Упражнения 5.6. 1) $A_n = 450$ Дж; $A_m = 900$ Дж; $\eta = 50\%$; 2) $\eta = 40\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1

**Некоторые десятичные приставки
Метрической системы мер**

Наименование приставки	Обозначение	Числовое значение	Краткая запись
Мега	М	1 000 000	10^6
Кило	к	1 000	10^3
Гекто	г	100	10^2
Дека	да	10	10^1
Деци	д	0,1	10^{-1}
Санتي	с	0,01	10^{-2}
Милли	м	0,001	10^{-3}
Микро	мк	0,000 001	10^{-6}

Таблица 2

**Среднее расстояние от Солнца до планет
и температура на их поверхности**

Планета	Среднее расстояние от Солнца, млн. км	Температура на поверхности, °С
Меркурий	57	от +400 до -200
Венера	107	+400
Земля	149	от +40 до -50
Марс	276	от +25 до -110
Юпитер	773	-138
Сатурн	1417	-180
Уран	2752	-190
Нептун	4469	-220

Таблица 3

**Среднее значение некоторых скоростей,
встречающихся в природе и технике**

Объект	Скорость, м/с	Объект	Скорость, м/с
Автомобиль «Жигули»	40	Муха в комнате	5
Движение Земли вокруг Солнца	30 000	Пешеход	1,3
Движение Луны вокруг Земли	1000	Пуля автомата Калашникова (при вылете из ствола)	715
Звук в воздухе (10°С)	332	Самолет ИЛ-18	180
Искусственный спутник Земли	8000	Свет и радиоволны	300 000 000
Конькобежец	до 13	Скворец	20
Молекула водорода (0°С)	1693	Страус	22
Молекула водорода (25°С)	1770	Тепловоз ТЭ10Л	до 28
		Улитка	0,0014
		Черепаша	0,05–0,14

Таблица 4

**Коэффициенты трения при скольжении
по поверхности некоторых тел**

Трущиеся материалы	Коэффициент трения
Дерево по льду	0,035
Сталь по льду	0,015
Дерево по дереву	0,07–0,50
Металл по дереву	0,1
Металл по металлу	0,15–0,20

Таблица 5

Свойства веществ в различных состояниях

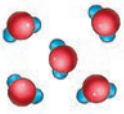
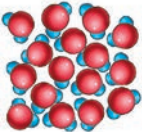
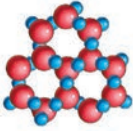
Состояние вещества	Основные свойства	Расстояние между молекулами (по сравнению с диаметром одной молекулы)	Рисунок (на примере молекул воды)	Как движутся молекулы
Газообразное	Газ стремится занять предоставленный ему объем; не сохраняет ни форму, ни объем; легко сжимается	Больше в десятки раз		Движения быстрые и беспорядочные, занимают весь предоставленный объем
Жидкое	Жидкость принимает форму сосуда, в который ее наливают; сохраняет объем (несжимаема); легко меняет свою форму; текуча	Соизмеримо с размерами самой молекулы		Совершают колебательные движения и обмениваются местами соседние молекулы
Твердое	Сохраняет и форму, и объем	Молекулы располагаются в определенном порядке; расстояние между соседними молекулами меньше, чем размеры самих молекул		Совершают колебательные движения относительно положения равновесия

Таблица 6

Плотность твердых тел (при t 20°C)

Твердое вещество	ρ		Твердое вещество	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Алмаз	3520	3,52	Никель	8900	8,9
Алюминий	2700	2,7	Олово	7300	7,3
Золото	19 300	19,3	Платина	21 600	21,6
Бетон	2300	2,3	Пробка	240	0,24
Германий	5320	5,32	Сахар- рафинад	1600	1,6
Гранит	2600	2,6	Свинец	11 400	11,4
Дуб	700	0,7	Серебро	10 500	10,5
Железо	7874	7,87	Соль	2200	2,2
Капрон	1100	1,1	Сосна (сухая)	400	0,4
Кварц	2600	2,6	Сталь	7800	7,8
Кирпич	1800	1,8	Цинк	7180	7,18
Корунд	4000	4,0	Фарфор	2400	2,4
Кость	1700– 2000	1,7– 2,0	Уран	1900	1,9
Лед	900	0,9	Янтарь	1100	1,1
Медь	8900	8,9			
Мрамор	2700	2,7			

Таблица 7

Плотность некоторых жидкостей (при t 20°C)

Жидкость	ρ		Жидкость	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Ацетон	790	0,79	Молоко	1030	1,03
Бензин	710	0,71	Ртуть	13 600	13,6
Глицерин	13 100	1,3	Масло подсолнечное	930	0,93
Керосин	800	0,8	Масло машинное	900	0,90
Угольная кислота	1800	1,8	Нефть	800	0,8
Вода	1000	1,0	Бензин	710	0,71
Вода морская	1030	1,03	Эфир	710	0,71

Таблица 8

Плотность некоторых газов (при t 20°C)

Газ	ρ		Газ	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Азот	1,250	0,00125	Кислород	1,430	0,00143
Водород	0,090	0,00009	Неон	0,170	0,00017
Водяной пар (100°C)	0,590	0,00059	Природный газ	0,800	0,0008
Воздух сухой	1,290	0,00129	Углекислый газ	1,980	0,00198
Гелий	0,180	0,00018	Угарный газ	1,250	0,00125

Единицы физических величин

1 км = 1000 м = 10³ м

1 дм = 0,1 м = 10⁻¹ м

1 см = 0,01 м = 10⁻² м

1 мм = 0,001 м = 10⁻³ м

1 га = 10000 м² = 10⁴ м²

1 л = 1 дм³ = 0,001 м³ = 10⁻³ м³

1 мл = 0,001 л = 1 см³

1 кН = 1000 Н = 10³ Н

1 т = 1000 кг = 10³ кг

1 г = 0,001 кг = 10⁻³ кг

1 мг = 0,000 001 кг = 10⁻⁶ кг

1 кПа = 1000 Па = 10³ Па

1 гПа = 100 Па = 10² Па

1 мм рт. ст. \approx 133 Па \approx 1,3 · 10² Па

1 кДж = 1000 Дж = 10³ Дж

1 кВт = 1000 Вт = 10³ Вт

Дополнительная литература

1. Астрономия. Энциклопедия для детей. М.: Аванта+, 1999.
2. Естествознание. Энциклопедический словарь/ Сост. В. Д. Шолле. М., 2002.
3. Космонавтика. Энциклопедия для детей. М.: Аванта+, 2004.
4. Рекорды космоса. Иллюстрированная детская энциклопедия. Пер. с англ. М., 2000.
5. Факты. Люди. Даты. События. Малый энциклопедический справочник. Пер. с англ. М., 2002.
6. Физика. Справочник школьника и студента/ Под ред. проф. Р. Гёбеля. Пер. с нем. М., 2003.
7. Физика. Энциклопедия. М., 2003.
8. Физика. Энциклопедия для детей. М.: Аванта+, 2003.
9. Кто такой? Что такое? Энциклопедия для младшего школьного возраста. В 3 томах. Алматы: Главная редакция Казахской советской энциклопедии, 1985–1986.
10. Школьная энциклопедия. Естественные науки. Энциклопедия+Интернет. Пер. с англ. М., 2001.
11. Энциклопедический словарь юного физика/ Сост. В. А. Чуянов. М., 1991.
12. Энциклопедия старшеклассника. Оксфордская библиотека. Пер. с англ. М., 2002.

Электронные ресурсы

1. <http://www.krugosvet.ru/>
2. Bilimland kz.VideoLike.
3. WWW.ychitel.com.
4. <http://festival.1september.ru/>
5. www.oula.kz

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Физика – наука о природе	
§ 1. Физика – наука о природе	6
§ 2. Научные методы изучения природы	10
§ 3. Физические величины. Скалярные и векторные величины. Международная система единиц.....	14
§ 4. Измерение физических величин. Работа с измерительными приборами. Измерение объема тел правильной и неправильной формы.....	18
§ 5. Точность измерений и вычислений.....	22
§ 6. Оптимальная запись больших и малых чисел	24
<i>Лабораторная работа</i> № 1. Определение размеров малых тел.....	27
<i>Лабораторная работа</i> № 2. Измерение физических величин.....	29
<i>Самое важное в главе 1</i>	31
Глава 2. Механическое движение	
§ 7. Механическое движение и его характеристики. Система отсчета ..	34
§ 8. Относительность механического движения	37
§ 9. Прямолинейное равномерное и неравномерное движение	39
§ 10. Скорость и расчет средней скорости.....	40
§ 11. Графическое представление различных видов механического движения	46
<i>Самое важное в главе 2</i>	49
Глава 3. Взаимодействие тел	
§ 12. Явление инерции.....	52
§ 13. Взаимодействие тел. Масса и измерение массы тел	55
§ 14. Плотность вещества и единицы измерения плотности. Расчет плотности	59
<i>Лабораторная работа</i> № 3. Определение плотности твердых тел и жидкостей.....	62
§ 15. Сила	63
§ 16. Явление тяготения. Сила тяжести.....	65
§ 17. Вес	70
§ 18. Деформация. Сила упругости	74
§ 19. Закон Гука	76
<i>Лабораторная работа</i> № 4. Изучение упругих деформаций.....	78
§ 20. Сила трения. Учет трения в технике	80
<i>Лабораторная работа</i> № 5. Исследование силы трения скольжения.....	84
§ 21. Сложение сил, действующих на тело вдоль прямой	85
<i>Самое важное в главе 3</i>	87

Глава 4. Давление

§ 22. Молекулярное строение твердых тел, жидкостей и газов	90
§ 23. Давление твердых тел.....	95
§ 24. Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля	98
§ 25. Сообщающиеся сосуды.....	103
§ 26. Гидравлические машины	106
§ 27. Атмосферное давление. Измерение атмосферного давления.....	109
§ 28. Манометры. Насосы.....	111
§ 29. Выталкивающая сила. Закон Архимеда.....	115
<i>Лабораторная работа № 6. Изучение закона Архимеда</i>	<i>122</i>
<i>Лабораторная работа № 7. Определение условий плавания тел в жидкости</i>	<i>123</i>
<i>Самое важное в главе 4</i>	<i>125</i>

Глава 5. Работа. Мощность. Энергия

§ 30. Механическая работа.....	128
§ 31. Мощность.....	130
§ 32. Механическая энергия. Кинетическая энергия.....	132
§ 33. Потенциальная энергия	137
§ 34. Превращение и сохранение энергии	142
§ 35. Момент силы. Центр масс тел.....	146
<i>Лабораторная работа № 8. Нахождение центра масс плоской фигуры ...</i>	<i>149</i>
§ 36. Простые механизмы. «Золотое правило» механики	150
§ 37. Условие равновесия рычага	154
<i>Лабораторная работа № 9. Определение условия равновесия рычага</i>	<i>157</i>
§ 38. Коэффициент полезного действия	159
<i>Лабораторная работа № 10. Определение работы, совершаемой при равномерном поднятии тела. Определение КПД наклонной плоскости</i>	<i>161</i>
<i>Самое важное в главе 5</i>	<i>163</i>

Глава 6. Космос и Земля

§ 39. Наука о небесных телах	166
§ 40. Солнечная система.....	172
§ 41. Основы календаря	177
<i>Самое важное в главе 6</i>	<i>182</i>
Ответы к упражнениям.....	183
Приложение.....	184
Дополнительная литература	189

Учебное издание
Башарулы Рахметолла

ФИЗИКА

Учебник для 7 класса общеобразовательных школ

Зав. редакцией *Н. Жиенгалиев*
Редактор *А. Раймкулова*
Художественный редактор *Н. Тлеумбеков*
Технический редактор *О. Рысалиева*
Корректор *Ж. Орынканова*
Компьютерная верстка *Л. Макаровой*

ИБ № 045

Сдано в набор 12.01.2017. Подписано в печать 22.05.2017. Формат 70×90¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная. Усл. печ. л. 14,04.
Уч.-изд. л. 11,16. Тираж 30 000 экз. Заказ №2454.

ТОО «Корпорация «Атамұра», 050000, г. Алматы, пр. Абылай хана, 75.

Полиграфкомбинат ТОО «Корпорация «Атамұра» Республики Казахстан,
050002, г. Алматы, ул. М. Макатаева, 41.

