

Б. А. Кронгарт, У. К. Токбергенова

ФИЗИКА

Учебник для 7 классов
общеобразовательных школ

*Утверждено Министерством образования
и науки Республики Казахстан*



Алматы "Мектеп" 2017

УДК 373.167.1
ББК 22.3я72
К83

Кронгарт Б. А., Токбергенова У. К.
К83 **Физика.** Учебник для 7 кл. общеобразоват. шк. — Алматы: Мектеп, 2017. —
208 с.

ISBN 978—601—07—0854—9

К $\frac{4306021200—025}{404(05)—17}$ 19(1)—17

УДК 373.167.1
ББК 22.3я72

© Кронгарт Б. А., Токбергенова У. К., 2017
© Издательство "Мектеп",
художественное оформление, 2017

Все права защищены

Имущественные права на издание
принадлежат издательству "Мектеп"

ISBN 978—601—07—0854—9

Глава 1
Физика — наука о природе



Глава 2
Механическое движение



Глава 3
Взаимодействие тел



Глава 4
Давление



Глава 5
Работа и мощность. Энергия



Глава 6
Космос и Земля



СОДЕРЖАНИЕ



Предисловие	6
Глава 1. ФИЗИКА — НАУКА О ПРИРОДЕ	
§ 1. Физика — наука о природе	8
§ 2. Научные методы изучения природы	11
§ 3. Физические величины и их измерения. Международная система единиц	16
§ 4. Точность измерений и вычислений. Запись больших и малых чисел	20
§ 5. Векторные и скалярные величины	25
<i>Лабораторная работа № 1. Измерение физических величин</i>	<i>27</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Измерение размеров малых тел</i>	<i>28</i>
Глава 2. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ	
§ 6. Механическое движение и его характеристики	32
§ 7. Относительность механического движения ...	36
§ 8. Прямолинейное равномерное и неравномерное движение	42
§ 9. Графическое представление движения	47
Глава 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ	
§ 10. Молекулярное строение твердых тел, жидкостей и газов	58
§ 11. Движение молекул. Диффузия. Броуновское движение	64
§ 12. Масса и измерение массы тел	67
§ 13. Плотность вещества и единицы измерения плотности	71
<i>Лабораторная работа № 3. Определение плотности жидкостей и твердых тел</i>	<i>77</i>
§ 14. Инерция	78
§ 15. Сила	81
§ 16. Явление тяготения. Сила тяжести	83
§ 17. Вес тела	86
§ 18. Деформация	90
§ 19. Сила упругости. Закон Гука	93
<i>Лабораторная работа № 4. Изучение упругих деформаций</i>	<i>97</i>
§ 20. Силы трения	98
<i>Лабораторная работа № 5. Исследование силы трения скольжения</i>	<i>103</i>
§ 21. Сложение сил, действующих на тело вдоль одной прямой	104

Глава 4. ДАВЛЕНИЕ

§ 22. Давление. Передача давления твердыми телами	110
§ 23. Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля	114
§ 24. Гидростатическое давление	117
§ 25. Сообщающиеся сосуды	119
§ 26. Гидравлические машины	122
§ 27. Атмосферное давление	130
§ 28. Измерение атмосферного давления	133
§ 29. Манометры. Насосы	135
§ 30. Сила Архимеда	138
§ 31. Условия плавания тел	141
<i>Лабораторная работа № 6. Изучение закона Архимеда</i>	<i>149</i>
<i>Лабораторная работа № 7. Определение условия плавания тел</i>	<i>150</i>

Глава 5. РАБОТА И МОЩНОСТЬ. ЭНЕРГИЯ

§ 32. Механическая работа. Мощность	154
§ 33. Энергия	159
§ 34. Кинетическая и потенциальная энергия	160
§ 35. Закон сохранения и превращения механической энергии	165
§ 36. Простые механизмы	167
§ 37. Центр масс тел	169
<i>Лабораторная работа № 8. Нахождение центра масс плоской фигуры</i>	<i>171</i>
§ 38. Условие равновесия рычага	172
<i>Лабораторная работа № 9. Определение условия равновесия рычага</i>	<i>179</i>
§ 39. Коэффициент полезного действия простых механизмов. "Золотое правило" механики	181
<i>Лабораторная работа № 10. Определение КПД наклонной плоскости</i>	<i>184</i>

Глава 6. КОСМОС И ЗЕМЛЯ

§ 40. Наука о небесных телах	188
§ 41. Солнечная система	191
§ 42. Основы календаря (сутки, месяц, год)	197
Приложения	202
Предметный указатель	204



Условные обозначения:




Вопросы для самоконтроля





Практические задания



Упражнения

 Задания, обязательные для выполнения

 Задания средней сложности

 Задания повышенной сложности

Сокращения:

англ. — английское

греч. — греческое

лат. — латинское

итал. — итальянское



Предисловие

Дорогие семиклассники!

С этого учебного года вы начинаете изучать новый для вас учебный предмет — физику. Вы узнаете, что это интересная и полезная наука о природе, которую вы будете осваивать в течение пяти лет. Перед вами открывается дорога в прекрасный и удивительный мир физики.

В этом году вы получите первоначальные сведения о понятиях, величинах и законах, описывающих физические явления, познакомитесь с механическим движением, взаимодействием тел, давлением в жидкостях, газах и твердых телах, с элементами статистики, а также методами их исследования.

В учебнике вы найдете полезный и интересный материал об окружающем нас мире и технике. Старайтесь понять суть изученного материала и учитесь использовать полученные знания на практике. После усвоения определенной темы ответьте на вопросы, сформулированные в конце параграфа.

Основные понятия, определения, формулы выделены специальным шрифтом. Познавательный материал, рассчитанный для любознательных ребят, дан  знаком и отдельным цветом. Знаком  выделены тексты для запоминания.

Изучая физику, обращайтесь к приведенным рисункам, которые иллюстрируют излагаемый материал, показывающий различные природные явления, измерительные приборы, машины и др. Сопоставляйте рисунок и его описание в учебнике, это поможет вам лучше понять содержание.

Основным методом изучения природных явлений в физике является эксперимент, поэтому в учебнике много практических заданий, которые предполагают проведение опыта и наблюдений. Вы научитесь ставить опыты, самостоятельно выполнять практические задания, и для вас они будут одним из источников знаний.

В конце каждого параграфа даны задачи, некоторые из них повышенной трудности (помечены специальным знаком). Умение решать их является одним из показателей результативности усвоения пройденного материала. Вы должны стремиться решить эти задачи, используя изученные законы и формулы.

Желаем вам успехов в учебе!

Физика — наука о природе

Нет на Земле человека, который мог бы равнодушно смотреть на величавое безмолвное ночное небо...

Как возникли звезды, планеты, кометы? Что их ожидает в будущем? По каким законам происходит движение небесных тел?

Для нас стало обыденным и привычным то, что еще совсем недавно казалось мечтой. Цветное телевидение, спутниковая связь, ракетная техника и космические корабли, синтетические материалы и атомная энергия, лазеры, информационные технологии, нанотехнологии и многое другое сейчас стало реальностью.

Что помогло стать реальным этим достижениям человечества? Исследования какой науки легли в их основу? Какими методами пользуется физика при изучении законов природы?

Для исследования явлений природы выдвигаются гипотезы, которые необходимо экспериментально проверить. Экспериментальная проверка сопровождается многочисленными измерениями.

Легко измерить длину тетради, массу яблока, а как измерить размеры атома, диаметр волоса или толщину листа тетради? И как это сделать наиболее точно?

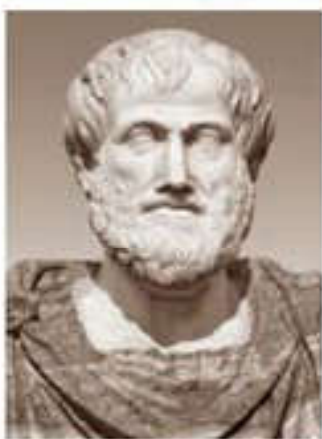




Ключевые слова:

- ✓ природные явления
- ✓ физические тела
- ✓ материя
- ✓ физические явления
- ✓ вещество

Слово *физика* происходит от греч. слова *фюзис*, что означает “природа”.



Аристотель
(384—322 гг. до н. э.)

Первый исследователь, который обобщил труды своих предшественников в области физики, впервые ввел это название в науку и создал единую систему.

§ 1. Физика — наука о природе



На этом уроке вы:

- познакомитесь с наукой *физика* и выясните, что она изучает;
- научитесь приводить примеры физических явлений.



Можете ли вы назвать и описать природные явления на иллюстрации снизу?

Природа, окружающая нас, постоянно изменяется. **Многообразные изменения в природе называются природными явлениями**.

По мере накопления знаний о природе и открытия новых явлений стали появляться науки, которые постепенно отделялись друг от друга.

Науки, изучающие явления природы, называются *естественными науками*. Кроме физики, к ним относят астрономию, химию, биологию и географию.

Физика как наука о природе изучает физические явления и свойства веществ.

Физические явления очень разнообразны: к ним относятся механические, тепловые, электрические, магнитные, световые, звуковые, а также явления, происходящие с атомами и их ядрами.





**Абу Наср аль-Фараби
(870—950 гг.)**

Величайший мыслитель родился в г. Фараб (ныне Отрар). До нынешнего поколения дошло около 50 его трудов, охватывающих все сферы науки. Его философские и мировоззренческие идеи лежат в основе современной физики, астрономии, математики и других наук.

Стали обыденными работа с компьютером, общение в Интернете, пользование GPS (англ. Global Positioning System — система глобального позиционирования), навигатором, сотовой связью и т. д. Работа этих устройств основана на физических явлениях.

В повседневной жизни человек читает книги, делает записи в тетрадях, живет в благоустроенных домах, летает на самолетах, ездит на машинах и поездах, т. е. использует для работы различные предметы и объекты.

Итак, человека окружают различные тела и любое тело имеет форму и объем. Значит, книга, камень, дерево, автомобиль, капля воды, кусок соли, песчинка, озеро являются *физическими телами* (рис. 1.1).



Рис. 1.1



Рис. 1.2

Тела, которые имеют определенную форму и занимают конкретный объем, называются **физическими телами**.

Все физические тела состоят из различных веществ (рис. 1.2). Например, древесина — вещество, стол — физическое тело; железо — вещество, железная ложка — физическое тело; стекло — вещество, стеклянный стакан — физическое тело, медь — вещество, проволока — физическое тело. Вещество является одним из видов материи. Все, что существует вокруг нас, называют *материей*, поэтому окружающий нас мир материален. Итак, *материя* — то, из чего состоит весь окружающий нас мир.

Вы только начали изучать физику. По мере накопления физических знаний вы сможете понять и объяснить многие физические явления и свойства тел, происходящие в окружающем нас материальном мире.



1. Что изучает физика?
2. Приведите примеры физических явлений.
3. Что вы понимаете под "физическим телом"?
4. Из чего состоят физические тела? Назовите вещества, из которых они состоят.
5. Что называется "материей"?
6. Какие науки называются "естественными науками"?



Начертите в тетради таблицу и распределите по колонкам следующие слова: сталь, гвоздь, удар, мяч, вода, капля дождя, воздух, пузырек воздуха, радуга, тень, ветер, магнит, молния, лампочка, гром, паутина, звезда.

тело	вещество	явление

§ 2. Научные методы изучения природы

На этом уроке вы:

- узнаете о методах исследования природы и последовательность изучения физических явлений.



Ключевые слова:

- ✓ наблюдение
- ✓ гипотеза
- ✓ эксперимент
- ✓ физический закон
- ✓ физическая теория

Для того чтобы изучить физическое явление, в физике используются разные методы:

Наблюдение. Изучение любого физического явления начинается с *наблюдения*. **Наблюдение** — это изучение явлений в естественных условиях, без всякого вмешательства человека в его ход.

В ходе наблюдений за явлениями природы получают определенные сведения о них. Например, наблюдая за образованием росы (рис. 1.3), установили, что наиболее обильно роса выпадает после жаркого дня и прохладной ночи. Откуда же появились капельки воды на листьях и траве?

Чтобы ответить на такие вопросы, обычно выдвигается предположение, которое называют *гипотезой*. Для проверки гипотезы ставят специальные опыты — *эксперименты*.

Если проведенные эксперименты противоречат выдвинутой гипотезе, то она считается ложной и отвергается. Гипотезы, подтвержденные экспериментом, принимаются и становятся научными знаниями.

Эксперимент. Под *экспериментом* понимают искусственное воспроизведение исследуемых явлений. С помощью эксперимента исследователь моделирует физические явления. Он может менять



Рис. 1.3



Рис. 1.4



Рис. 1.5



Рис. 1.6



Рис. 1.7

условия протекания явления или создавать специальные условия для его всестороннего изучения.

В ходе эксперимента устанавливаются закономерности протекания явления и причинная связь между ними. Для постановки эксперимента используют физические приборы. Некоторые из них очень просты. Например, линейка, весы, отвес (груз, подвешенный на нити), позволяющий проверять вертикальность стен (рис. 1.4) и т. д.

Есть и более сложные приборы, с которыми вам придется работать. К ним относятся источники тока (рис. 1.5), такие технические устройства, как электрический двигатель, электромагнит (рис. 1.6) и др.

Рассмотрим простой опыт. Если охладить металлический предмет в холодильнике и поставить его в теплую комнату, то легко обнаружить появление росы на этом предмете (рис. 1.7).

Мы обнаружим, что в прохладной комнате роса на предмете выпадает в меньшем количестве, а в холодной — и вовсе не будет выпадать. Следовательно, при изменении условий эксперимента меняется масса выпавшей росы.

Попытаемся объяснить образование росы в комнате. Капелька росы — это вода, но в малом количестве. Откуда же она появляется на металлическом предмете и листьях растений? Выдвигаем гипотезу: в воздухе имеется вода, но в каком-то другом состоянии, не видимом нами. Как это проверить?

В физике критерием истины является опыт. Поместим в теплую комнату сухую морозильную камеру и включим ее, оставив открытой дверцу камеры. Воздух, попадающий в камеру, будет охлаждаться, и она станет запотевать. Затем на стенках камеры появятся капельки росы, которые начнут

замерзать, превращаясь в лед. Опыт подтвердил, что в воздухе действительно находится вода, но в другом состоянии. Это состояние называют *водяным паром*. А для того чтобы объяснить явления превращения пара в жидкость и ее отвердевания, необходимо установить их законы. Сейчас мы с вами это еще сделать не можем, так как вы только начали изучать физику. Но по мере накопления физических знаний мы сможем объяснить эти явления на основе молекулярно-кинетической теории строения вещества.

Чтобы сделать вывод о том, что взаимосвязь между физическими явлениями не является случайной, ее справедливость проверяют для множества подобных явлений. Если связи между величинами, которые характеризуют явления, оказываются постоянными, то их называют *физическими законами*.

Физический закон можно записать в виде формулы, которая будет называться *математической записью физического закона*. Таким образом, последовательность изучения физических явлений может быть следующей: наблюдение → гипотезы → эксперимент → теоретический вывод.



Рассмотрите рисунок. Какие методы изучения физических явлений показаны?



Установленные в ходе эксперимента законы объясняются с помощью физических теорий, в которую входят описание определенных физических явлений, величины, характеризующие их, результаты эксперимента по выявлению закона. Так, механические движения вы будете изучать в этом году, они объясняются теорией, которая называется *механикой*. Примерами механического движения могут служить: движение транспорта, деталей машин и механизмов, небесных тел, перемещение животных и т. д.

Физика и техника. Физика и техника тесно связаны друг с другом. Открытия в физике легли в основу работы станков, двигателей, генераторов, телевизоров. Все эти устройства работают, используя законы физики.

Мечта человека о ковче-самолете, сапогах-скараходах, волшебном зеркальце, которое может показать то, что происходит в других местах, сейчас воплотилась в реальность благодаря достижениям физики. Вспомните о самолетах и вертолетах, переносящих человека на любые расстояния, и достаточно быстро. Вспомните о машинах, кораблях и поездах, которые могут доставить вас в любую точку земного шара. Вспомните о радио и телевизорах, которые позволяют нам виртуально присутствовать в разных точках земного шара и даже космического пространства.

Все это стало реальным благодаря кропотливому труду ученых-физиков, конструкторов, техников.

Новые открытия в физике приводят к совершенствованию существующей техники или появлению новой. Развитие же техники, в свою очередь, ведет к дальнейшему развитию науки.

Так, например, открытие радиоволн и изучение их свойств позволило создать различные радиотехнические устройства, которые используются в радиосвязи, радионавигации, радиолокации, телевидении.

Развитие этих областей техники способствовало дальнейшему изучению электрических явлений, что, в свою очередь, привело к изобретению калькуляторов, компьютеров, созданию сотовой связи, цифровой фотографии и т. д.

Развитие физики привело к появлению таких отраслей, как робототехника и космонавтика. Теперь человечество имеет возможность “бороздить” просторы Солнечной системы, изучая другие планеты.



Робот



Космическая станция

Космические корабли, управляемые с Земли, прилетают к другим планетам, фотографируют их поверхность. Зонды-роботы, опущенные на эти планеты, исследуют их поверхность и атмосферу.

Нам нужно помнить, что за достижениями техники и благами цивилизации стоит труд конкретных людей — ученых, конструкторов, техников, инженеров и простых рабочих. Придет время, и ваш труд будет принесен во благо цивилизации. Для этого необходимо учиться, учиться и еще раз учиться. Учиться тяжело, но знания, приобретенные в процессе учебы, станут фундаментом для вашей дальнейшей профессиональной работы.



1. Что называется "наблюдением", а что "экспериментом"? Чем они отличаются друг от друга, а чем похожи?
2. Что называют "гипотезой"?
3. Какова последовательность изучения явлений природы?
4. Каким образом устанавливается физический закон?
5. Где используют физические явления и законы?
6. В повседневной жизни вы часто встречаетесь со световыми явлениями. Какими способами вы можете установить законы распространения света? Попробуйте установить эти законы.



- 1 Вокруг вас каждый день происходит много интересных явлений. Опишите любое из них.
- 2 В стакан с водой выжмите немного лимонного сока и размешайте. Затем добавьте в воду чайную ложку пищевой соды. Какую реакцию вы наблюдаете? Чем характерна эта реакция? Вы наблюдали физическое или химическое явление?
- 3 С помощью трубочки, предназначенной для питья соков, выдуйте на дно стакана с теплой водой каплю растительного масла. Опишите весь процесс, происходящий с каплей масла, начиная с ее выхода из трубки. Как меняется форма капли при ее движении вверх и после всплытия?
Понаблюдайте и опишите этот же процесс, используя трубочки различного диаметра.

§ 3. Физические величины и их измерения. Международная система единиц



Ключевые слова:

- ✓ физическая величина
- ✓ единицы измерения
- ✓ кратные единицы
- ✓ дольные единицы
- ✓ производные единицы
- ✓ Международная система единиц (СИ)



На этом уроке вы:

- узнаете, по каким причинам была принята Международная система единиц (СИ);
- научитесь приводить примеры основных и производных единиц физических величин.

Как вам уже известно, для изучения физических явлений и процессов проводят опыты, во время которых измеряют различные физические величины.

Физической величиной называется количественная характеристика свойств тела или физического явления.

При введении физической величины обязательно указывают ее единицы. Так, расстояние может измеряться в метрах, километрах, сантиметрах, миллиметрах и т. д. От выбора единицы зависит числовое значение физической величины, например, длина стола 2 м, или 200 см. Числовые значения физической величины различны, как и единицы этой величины.

Раньше единицы величин выбирались произвольно и во всех странах по-разному. В 1889 г. по решению Международной конференции мер и весов в Париже была создана Международная система мер, потому что бессистемность единиц измерения затрудняла торговые отношения между народами, тормозила развитие промышленности.



*В разные времена все страны пользовались своими единицами измерения. Эталоны величин выбирались произвольно. Например, мерой длины у казахов были: **қарыс** — расстояние между раздвинутыми большим и средним пальцами (пядь), **елі** — ширина одного пальца, **қулаш** — расстояние между вытянутыми в сторону руками (сажень). Русские пользовались такими мерами длины, как пядь, локоть, аршин, сажень, верста, англичане использовали другие меры длины — дюйм, фут, ярд, миля. Так же было и с такими физическими величинами, как масса, время, объем, площадь. Самой древней известной мерой веса является **бека** египетской цивилизации (около 3800 г. до н. э.), найденная в г. Накад (Египет). Гири были цилиндрической формы с закругленными краями. Их масса составляла от 188,7 г. до 211,2 г.*

В основу этой системы положена единица длины — метр. Впоследствии метрическая система мер была принята большинством стран мира, и на ее основе в 1960 г. создана Международная система единиц. Ее сокращенное обозначение — SI (франц. *Systeme International*, в русской транскрипции пишут СИ — *система интернациональная*).

Международная система единиц построена на базе семи единиц физических величин, называемых *основными*.

В СИ за основную единицу длины принят метр (1 м), массы — килограмм (1 кг), времени — секунда (1 с). С другими основными единицами СИ вы познакомитесь позже.

Все остальные единицы физических величин (кроме семи основных) — *производные*, т. е. они могут быть выражены через основные единицы, например, единица площади — квадратный метр (м^2), единица объема — кубический метр (м^3) и др.

Наряду с основными единицами, существуют кратные и дольные. *Кратными единицами измерения* называют единицы, которые в 1000, 1 000 000 больше основной единицы, а дольная единица — это единица в 10, 100, 1000 и т. д. раз меньше основной. Так, *кратными единицами длины* являются километр, мегаметр и др., а *дольными* — дециметр, сантиметр, миллиметр.

Кратные единицы массы — тонна, центнер, *дольные* — грамм, миллиграмм и др.

Для удобства измерений и записи были введены дополнительные приставки к основной единице, как большие, так и меньшие ее в десятичной системе. Например, $1 \text{ м} = 10 \text{ дм} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм}$, в то же время $1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$, $1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$, а $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$.

Дольные единицы длины:

- 1 м = 10 дециметров (дц);
- 1 м = 100 сантиметров (см);
- 1 м = 1000 миллиметров (мм);
- 1 м = 1 000 000 микрометров (мкм);
- 1 м = 1 000 000 000 нанометров (нм)

Кратные единицы длины:

- 1 декаметр (дкм) = 10 м;
- 1 гектометр (гм) = 100 м;
- 1 километр (км) = 1000 м;
- 1 мегаметр (Мм) = 1 000 000 м и др.



Первые приставки были введены в 1793—1795 гг. во Франции. Для кратных единиц наименования приставок было принято брать из греческого языка, а для дольных — из латинского, например: кило... (от греч. *chilioi* — “тысяча”), деци... (от лат. *decem* — “десять”), санти... (от лат. *centum* — “сто”), милли... (от лат. *mille* — “тысяча”), мега... (от греч. *megas* — “большой”), гига... (от греч. *gigas* — “великан”), тера... (от греч. *teras* — “огромный”), микро... (от греч. *micros* — “малый”), нано... (от греч. *nanos* — “карлик”), пико... (от итал. *piccolo* — “небольшой, мелкий”).



Рис. 1.8

Вам часто приходится определять время. Как отмечалось выше, основная единица времени — секунда (с). Однако время измеряется в минутах, часах, сутках и т. д. Отталкиваясь от секунды, минуту определяют как 60 с, час — 3600 с, сутки — 86 400 с.



Урок длится 45 мин. О какой физической величине говорится в данном высказывании? В каких единицах она выражена?

Каждая физическая величина обозначается определенным символом, например, длина — l , масса — m , время — T или t . Известно, что длина стола составляет 2 м. Это означает, что в длине стола укладывается два отрезка длиной в 1 м. Записывают это так: $l = 2$ м. В этом выражении: l — условное обозначение длины, 2 — числовое значение длины стола, м (метр) — единица длины, 2 м — значение длины стола.



Рис. 1.9

Для измерения разных величин используют различные приборы — весы, часы, термометры, линейку, транспортир и т. д. (рис. 1.8). Небольшие расстояния мы можем измерить линейкой, а расстояния в несколько метров — рулеткой (рис. 1.9).

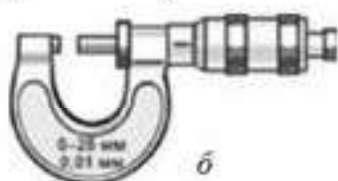


Рис. 1.10

Для более точного определения размеров тел используется штангенциркуль (рис. 1.10, а) или микрометр (рис. 1.10, б), для измерения сил — измерительный прибор, который называется динамометром (рис. 1.11).

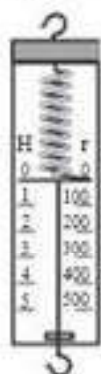


Рис. 1.11

Перевод некоторых величин в систему СИ:

- $1 \text{ см}^3 = 1 \cdot (10^{-2} \text{ м})^3 = 1 \cdot 10^{-2 \cdot 3} \text{ м}^3 = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$
- $2 \text{ мм}^2 = 2 \cdot (10^{-3} \text{ м})^2 = 2 \cdot 10^{-3 \cdot 2} \text{ м}^2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
- $4 \text{ мг} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 4 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$
- $3 \text{ л} = 3 \text{ дм}^3 = 3 \cdot (10^{-1} \text{ м})^3 = 3 \cdot 10^{-1 \cdot 3} \text{ м}^3 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
- $7 \text{ мл} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ л} = 7 \cdot 10^{-3} \text{ дм}^3 = 7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$

Для того чтобы дать полную характеристику физической величине, необходимо:

- указать физический смысл этой величины;
- ввести ее буквенное обозначение;
- показать, по какой формуле можно рассчитать эту величину;
- ввести единицы измерения этой величины;
- назвать прибор, с помощью которого эта величина измеряется.



1. По каким причинам была принята Международная система единиц?
2. Что означают в наименовании единиц измерения длины приставки: кило-, санти-, милли-, микро-?
3. Приведите примеры основных и производных единиц физических величин.



1. Размер (длина) обуви равен длине ступни, выраженной в сантиметрах, умноженной на число 1,5. Определите размер своей обуви. Какова длина ступни, если человек носит обувь 40-го размера?
2. Сколько времени длится перемена? Выразите это время в секундах, минутах, часах.
3. Измерьте длину, ширину и толщину книги. Полученный результат выразите в миллиметрах (мм), сантиметрах (см), дециметрах (дм), метрах (м).
4. Средним пальцем правой руки нащупайте у себя пульс на левом запястье. Измерьте время 70 ударов пульса с помощью часов с секундной стрелкой. Определите время между ударами пульса.



1. Частицы пыли имеют размеры от 0,005 до 0,05 мм. Выразите эти размеры в микрометрах, нанометрах, километрах.
2. Ученик проходит путь от дома до школы за 15 мин. Выразите это время в часах и секундах.
3. Ученик выполнил задание за 50 мин. Выразите это время в секундах.
4. Узнайте по справочникам, что такое дюйм, фут, миля и переведите их в систему СИ.
5. Решите следующие примеры:
 $0,65 \text{ км} = \dots \text{ м} = \dots \text{ см} = \dots \text{ мм};$
 $2,7 \text{ м} = \dots \text{ км} = \dots \text{ дм} = \dots \text{ мкм};$
 $0,04 \text{ км} = \dots \text{ м} = \dots \text{ дм} = \dots \text{ мм};$
 $4 \text{ см}^3 = \dots \text{ м}^3 = \dots \text{ мм}^3;$
 $8 \text{ мм}^2 = \dots \text{ м}^2 = \dots \text{ см}^2;$
 $365 \text{ мм} = \dots \text{ м} = \dots \text{ км} = \dots \text{ см};$
 $21 \text{ л} = \dots \text{ м}^3 = \dots \text{ см}^3.$

§ 4. Точность измерений и вычислений. Запись больших и малых чисел



Ключевые слова:

- ✓ точность измерений
- ✓ погрешность измерения
- ✓ шкала прибора
- ✓ цена деления
- ✓ абсолютная погрешность



На этом уроке вы:

- узнаете причины погрешностей при измерении;
- научитесь записывать результат измерений с учетом погрешности.

Точность измерений и вычислений. В практической деятельности, в научно-исследовательских работах точность измерения физических величин занимает особое место. При измерении физических величин часто требуется получить как можно более точный результат. Однако какие бы измерения мы ни проводили, они будут выявлены с какой-то погрешностью. Невозможно измерить что-то абсолютно точно.

Произведя измерение, необходимо правильно оценить полученную при этом ошибку, которая называется *погрешностью измерения*.

Погрешность измерения зависит от правильного выбора прибора. Все измерительные приборы имеют шкалу (рис. 1.12).



Рис. 1.12

Шкала — это метки с цифрами на приборе, вдоль которых перемещается указатель (стрелка, уровень жидкости, “световой зайчик” и т. д.). Вся шкала расчерчена штрихами и имеет деления.

Деление — это расстояние между двумя ближайшими штрихами.

Устройство каждого измерительного прибора индивидуально, также как и его шкала, и цена деления шкалы.

Цена деления — это значение наименьшего деления (расстояния между двумя ближайшими штрихами) шкалы измерительного прибора, выраженное в единицах измеряемой величины.

Шкала прибора должна иметь такую цену деления, которая соответствовала бы измеряемой величине. Например, миллиметровой линейкой крайне неудобно измерять длину здания или толщину листа бумаги. В то же время этой же линейкой удобно измерять размеры книги, стола или других небольших предметов.

Чем меньше цена деления прибора, тем больше точность измерения.

Для того чтобы определить цену деления, необходимо найти разность между двумя соседними цифрами на шкале прибора и разделить ее на число делений между ними.

Рассмотрим в качестве примера измерительную ленту и ученическую линейку (рис. 1.13). Они являются простейшими приборами для измерения длины.

Найдем цену деления линейки и измерительной ленты. На линейке нанесены цифры 1, 2, 3 и т. д. Расстояние между соседними цифрами равно 1 см. Между цифрами 1 и 2, 2 и 3 и т. д. нанесено по 10 делений. Тогда цена одного деления шкалы линейки будет равна:

$$\frac{(2 - 1) \text{ см}}{10} = 0,1 \text{ см} = 1 \text{ мм.}$$

На измерительной ленте цифры те же: 1, 2, 3 и т. д., но между соседними цифрами только два деления. Следовательно, цена деления измерительной ленты равна:

$$\frac{(2 - 1) \text{ см}}{2} = 0,5 \text{ см} = 5 \text{ мм.}$$

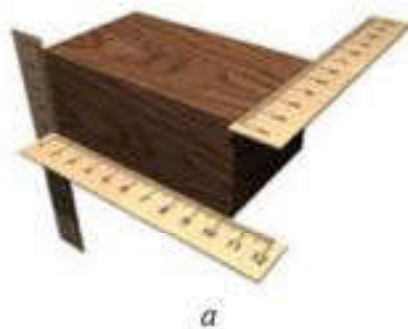
Например, измерим длину, ширину и высоту бруска линейкой и измерительной лентой. Длина бруска, измеренная с помощью линейки, оказалась равной 10,2 см, ширина — 6,4 см, а высота — 5 см (рис. 1.14, а). Длина этого же бруска, измеренная лентой, равна 10 см, ширина — 6,5 см, а высота — 5 см (рис. 1.14, б).

Каковы же тогда длина, высота и ширина бруска на самом деле?

Для того чтобы ответить на этот вопрос, введем понятие *погрешность измерения*.



Рис. 1.13



а



б

Рис. 1.14

Под *погрешностью измерения* понимают величину, равную половине цены деления шкалы прибора.

Эту погрешность называют *абсолютной погрешностью измерений*. Значит, миллиметровая линейка имеет *абсолютную* погрешность 0,05 см, а измерительная лента — 0,25 см. С учетом этого значения величин (длины, ширины и высоты бруска), измеренных нами с помощью линейки, будут равны $l = 10,2 \pm 0,05$ см, $b = 10,2 \pm 0,05$ см и $h = 5 \pm 0,05$ см соответственно. Эти же значения, но измеренные с помощью измерительной ленты будут равны $l = (10 \pm 0,25)$ см, $b = (6,5 \pm 0,25)$ см и $h = (5 \pm 0,25)$ см. Видно, что во втором случае измерения произведены с большей погрешностью.

При записи величин с учетом погрешности следует пользоваться формулой:

$$A = a \pm \Delta a,$$

где A — измеряемая величина, a — результат измерений, Δa — погрешность измерения (Δ — греческая буква *дельта*).

При проведении измерений любой ученик, отвлекаясь, может допустить грубую ошибку. Повторные измерения, проведенные более внимательно, укажут на эту ошибку. Это измерение надо исключить из дальнейших расчетов. Чтобы не допускать грубых ошибок, необходимо быть внимательным и аккуратным, осторожно обращаться с приборами, правильно снимать показания со шкалы приборов.

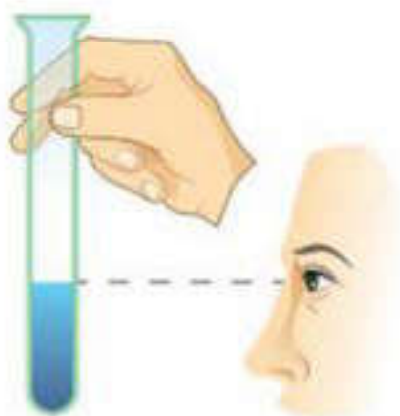


Рис. 1.15

Кроме этого, погрешность может возникнуть из-за того, что мы неправильно располагаем глаз при проведении измерений. Глаз всегда должен располагаться перпендикулярно делению шкалы, на которое мы смотрим (рис. 1.15).

Итак, ошибки при измерении существуют всегда, причем они тем больше, чем больше цена деления. Из этого следует, что у каждого измерительного прибора есть неточность в измерениях, которая определяет класс точности прибора.

В настоящее время многие измерительные приборы являются *цифровыми*. Они удобны тем, что значение измеряемой величины



Предлагаем вам самостоятельно определить цену деления наручных часов и других измерительных приборов, имеющихся у вас дома.

можно сразу увидеть на экране, не производя никаких вычислений. Результаты с цифрового табло также записываются с учетом погрешности измерения.

Запись больших и малых чисел. При измерениях или вычислениях физических величин могут получаться числа либо очень большие, либо очень малые. Например, длительность года равна 365 днями, или 8760 ч, или 525 600 мин, или 31 536 000 с. Видно, что длительность года, выраженная в днях, более удобна для вычислений, чем в секундах.

Для удобства вычислений большие числа принято записывать в более компактном виде с использованием числа 10 в степени. Например, возьмем число 1000. Его можно представить в виде $10 \cdot 10 \cdot 10$, или же 10^3 . Следовательно, число 3000 можно записать так: $3 \cdot 1000 = 3 \cdot 10^3$. Число 0,00 001 можно записать так: $\frac{1}{100\ 000} = \frac{1}{10^5} = 10^{-5}$. Понятно, что такая запись числа более удобна. Это хорошо видно из следующих примеров:

- $2\ 000\ 000\ 000\ 000 = 2 \cdot 10^{12}$.
- $0,0\ 000\ 000\ 000\ 000\ 004 = 4 \cdot 10^{-16}$.

Покажем теперь, как производить вычисления с такими числами. Например,

$$\begin{aligned} 100 \cdot 4000 &= 400000 = 4 \cdot 10^5 \text{ или} \\ 100 \cdot 4000 &= 10^2 \cdot 4 \cdot 10^3 = 4 \cdot 10^{3+2} = 4 \cdot 10^5; \\ 4000 \cdot 0,01 &= 40 \text{ или} \\ 4000 \cdot 0,01 &= 4 \cdot 10^3 \cdot 10^{-2} = 4 \cdot 10^{3+(-2)} = 4 \cdot 10^1 = 40. \end{aligned}$$

Любое число можно представить в виде произведения двух множителей. Первый множитель — это целое число с дробной частью, а второй — это число 10 с показателем степени. Например, длительность года может быть представлена в виде:

$$31\ 536\ 000 \text{ с} \approx 3,15 \cdot 10^7 \text{ с.}$$

Длина экватора Земли составляет $40\ 000\ 000 \text{ м} = 4 \cdot 10^7 \text{ м}$.

Масса комара равна $2 \text{ мг} = 0,000\ 000\ 002 \text{ кг} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$.

Запись чисел с использованием числа 10 в степени называют *записью числа в стандартном виде*.

Математические действия с такими числами производить гораздо легче. Пусть даны числа $x = a \cdot 10^n$ и $y = b \cdot 10^m$. Тогда произведение этих чисел будет равно: $x \cdot y = ab \cdot 10^{n+m}$, а частное $\frac{x}{y} = \frac{a}{b} \cdot 10^{n-m}$.

Приведем следующие примеры:

- $5,2 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^7 = 5,2 \cdot 4 \cdot 10^{4+7} = 20,8 \cdot 10^{11}$.
- $8 \cdot 10^4 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 4 \cdot 10^{4-6} = 32 \cdot 10^{-2}$.

$$3. \frac{16 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^6} = \frac{16}{5} \cdot 10^{8-6} = 3,2 \cdot 10^2.$$

$$4. \frac{36 \cdot 10^8}{4 \cdot 10^{-6}} = \frac{36}{4} \cdot 10^{8-(-6)} = 9 \cdot 10^{14}.$$

Напомним, что $10^0 = 1$.



1. Что называется "физической величиной"?
2. Что значит "измерить физическую величину"?
3. Что вы понимаете под эталоном физической величины?
4. Опишите назначение и устройство измерительного прибора.
5. Что такое "цена деления шкалы" и как ее найти?
6. Что такое "погрешность измерения"?
7. Какая погрешность называется абсолютной?
8. Объясните, каким образом можно измерить величину наиболее точно.



- 1 Определите цену деления шкалы вашей ученической линейки. Измерьте с ее помощью длину ручки.
- 2 Определите цену деления измерительной ленты. С ее помощью измерьте дома длину и ширину стола. Вычислите погрешность измерения.
- 3 Определите и запишите пределы измерения и цену деления мензурки. Определите объем воды в мензурке, объем тела, погруженного в воду (рис. 1.16). Вычислите погрешность измерений.
- 4 Рассмотрите устройство медицинского термометра. Определите и запишите цену деления шкалы термометра, верхний и нижний пределы шкалы термометра (рис. 1.17).

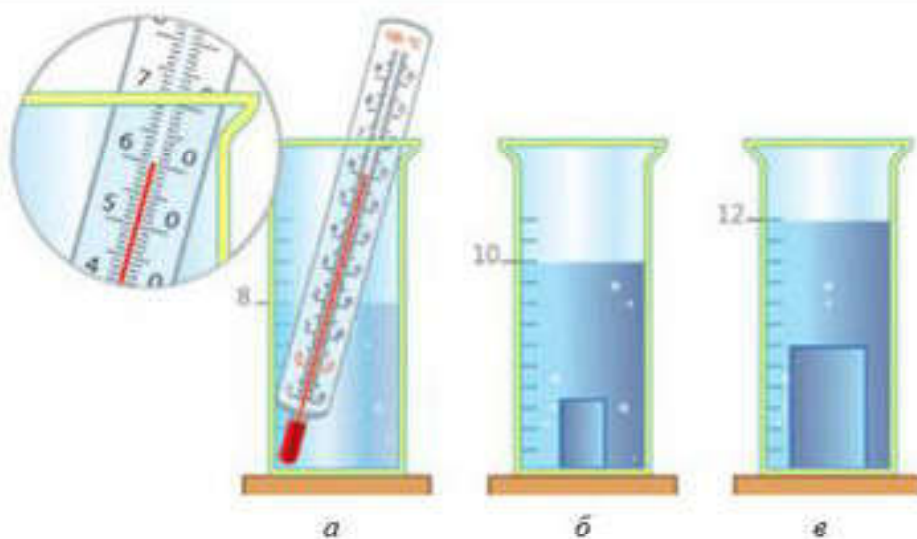


Рис. 1.16

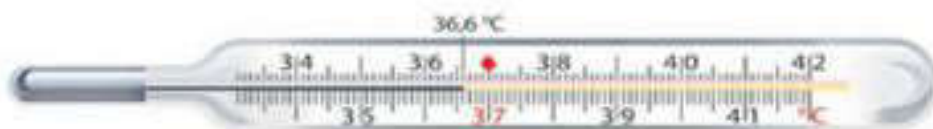


Рис. 1.17

§ 5. Векторные и скалярные величины

На этом уроке вы:

- узнаете, какие величины называются *векторными*, а какие *скалярными*;
- научитесь различать векторные и скалярные физические величины.



Ключевые слова:

- ✓ скалярная величина
- ✓ векторная величина

В процессе изучения физики вы будете встречать два вида физических величин — скалярные и векторные.

Скалярная величина — это физическая величина, которая имеет только одну характеристику — численное значение. Скалярная величина может быть положительной или отрицательной. Примерами скалярных величин являются известные вам физические величины: масса, температура, путь, время, объем, длина и др. Так, масса тела равна 3 кг, температура воздуха равна $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, длина стержня — 1 м. Во всех этих случаях интересующая нас величина имеет только численное значение. Следовательно, масса, температура и длина являются скалярными величинами.

Во многих случаях числовые значения и единицы измерения не всегда являются достаточными для понимания смысла физических понятий и величин. Поэтому в физике вводятся векторные величины.

Векторная величина — это физическая величина, которая имеет две характеристики — модуль и направление в пространстве.

Над буквами векторных физических величин ставят стрелку. В этом учебном году вы ознакомитесь с такими векторными величинами, как скорость \vec{v} , перемещение \vec{s} , сила \vec{F} . Так, запись \vec{v} (со стрелкой) означает, что скорость — векторная величина, имеющая направление, а запись v (без стрелки) — модуль, т. е. числовое значение скорости.

На рисунке направление вектора изображается как направленный отрезок прямой линии, длина которого в масштабе — модуль вектора. На рис. 1.18 изображен вектор скорости тела.



Рис. 1.18



Рис. 1.19

Предположим, что два велосипедиста двигаются по дорожке навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 4$ км/ч и $v_2 = 8$ км/ч. Тогда векторы \vec{v}_1 и \vec{v}_2 скоростей велосипедистов будут иметь противоположные направления, причем длина вектора \vec{v}_2 в два раза больше (рис. 1.19), т. е. вектор \vec{v}_2 вдвое длиннее.

Над векторами можно производить действия: сложение и вычитание. Правила сложения и вычитания векторных величин рассмотрим в последующих разделах курса физики.



1. Какие физические величины называются "скалярными"? Приведите примеры.
2. Какие физические величины называют "векторными"?
3. Чем скалярная величина отличается от векторной?
4. Как обозначается векторная физическая величина?
5. Как на рисунке изображается направление вектора?



Лабораторная работа № 1

ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

1. Определение цены деления мензурки. Измерение объема воды и тел, имеющих различную форму

Цели работы: научиться определять цену деления прибора; научиться правильно пользоваться приборами; научиться определять объемы тел с помощью мерного цилиндра (мензурки); научиться записывать результаты измерений с учетом погрешности.

Оборудование: цилиндр мерный (мензурка); стакан с водой; нитка; цилиндры из латуни, стали, алюминия; деревянный брусок; тела произвольной формы (камешки, гайки, шурупы); кусок пластилина.

Задание 1. Определение цены деления мензурки и измерение объема воды.

Ход работы:

1. Внимательно изучив шкалу мензурки, запишите в тетради, в каких единицах измеряется объем с помощью этой мензурки. Какой максимальный объем можно измерить с помощью данной мензурки? Переведите его в м^3 .
2. Используя знания, полученные вами при изучении § 4, определите цену деления шкалы мензурки.
3. Налейте в мензурку воду и определите ее объем. Измерения производите правильно, параллельно плоскости поверхности воды в мензурке. Определите погрешность измерения. Запишите результаты измерений с учетом погрешности.

Заполните таблицу:

V_{max} (л, м^3)	Цена деления шкалы	Абсолютная погрешность измерения	Объем (V_1) воды. (л, м^3)	Объем (V_2) воды. (л, м^3)	Результат измерения

Указание. Обращаем ваше внимание на то, что $1 \text{ мл} = 1 \text{ см}^3$. Объем жидкостей выражают как в мл, так и в см^3 , а объем твердых тел не принято выражать в миллилитрах.

Лабораторная работа

Задание 2. Измерение объема тел, имеющих различную форму с помощью мензурки.

Ход работы:

1. Налейте в мензурку воду и отметьте начальный объем воды V_0 в ней.
2. Привяжите нить к цилиндрам из латуни, стали и алюминия и опустите их в мензурку по очереди, каждый раз измеряя новое положение уровня воды V_1 в мензурке.
3. Определите объем цилиндров как разность конечного и начального объемов воды в мензурке.
4. Повторив опыты, привязав к нити гайку и шуруп, определите объемы этих твердых тел.
5. Поместите в мензурку с водой деревянный брусок. С помощью карандаша полностью погрузите его под воду. Измерьте новый объем воды V_1 . Найдите объем деревянного бруска как разность конечного и начального объемов воды в мензурке.
6. Запишите данные измерений и вычислений в таблицу:

Исследуемое тело	Начальный объем воды, V_0 (см ³)	Суммарный объем воды и тела, V_1 (см ³)	Объем тела, $V = V_1 - V_0$ (см ³)
Латунный цилиндр			
Стальной цилиндр			
Деревянный брусок			
Шуруп			
Гайка			

Лабораторная работа № 2

ИЗМЕРЕНИЕ РАЗМЕРОВ МАЛЫХ ТЕЛ

Цель работы: научиться выполнять измерения способом рядов.

Оборудование: измерительная линейка; набор малых тел (горошины, дробинки, пшено, нитка, тонкая проволока).

Задание 1. Измерение диаметра горошины, дробинки, пшена, проволоки, нитки

Ход работы:

1. Расположите несколько горошин вплотную друг к другу вдоль линейки и определите длину L получившегося ряда. Разделив эту длину на число горошин N в ряду, мы получим средний диаметр горошин: $d = \frac{L}{N}$.
2. Повторите опыт, взяв большее число горошин.
3. Таким же способом определите диаметр дробинки, пшена.
4. Намотайте на круглый карандаш нитку, располагая витки вплотную друг к другу. Измерьте с помощью линейки длину L намотанной части. Разделив эту длину на число витков N , мы получим среднюю толщину (диаметр) нитки: $d = \frac{L}{N}$.



- Аналогично определите диаметр проволоки.
- Запишите данные измерений и вычислений в таблицу:

№ опыта	Тело	Цена деления шкалы линейки	Длина ряда L (мм)	Число витков нити	Диаметр тела, d (мм)	Погрешность измерения диаметра, Δd (мм)

Задание 2. Определение размера точки

Ход работы:

- Поставьте в тетради с помощью ручки вдоль одной прямой 15—20 точек, вплотную друг к другу.
- Измерьте их общую длину L и определите размер одной точки, разделив получившуюся длину на число точек N : $d = \frac{L}{N}$.
- Запишите данные измерений и вычислений в таблицу.

№ опыта	Число точек в ряду N	Длина ряда, L (мм)	Диаметр точки, d (мм)	Погрешность измерения диаметра, Δd (мм)

Задание 3. Измерение шага винта.

Шагом винта называется расстояние между двумя соседними витками резьбы, нанесенной на винте, шурупе или гайке.

Ход работы:

- Измерьте линейкой длину части винта L , на которой расположены витки резьбы. Затем посчитайте число витков N резьбы. Шаг винта будет равен: $h = \frac{L}{N}$.
- Повторите измерения и вычисления с другими винтами, шурупами или гайками.
- Запишите данные измерений и вычислений в таблицу:

Тело	Число витков, N	Длина резьбы, L (мм)	Шаг винта, d (мм)	Погрешность измерения шага винта, Δd (мм)	Результат измерения
Винт					
Шуруп					
Гайка					

- Подведите итоги работы.

Самое важное в главе

“Физика — наука о природе”



Физическая величина — количественная характеристика свойств тела или физического явления

Векторная величина — физическая величина, которая имеет две характеристики — модуль и направление в пространстве.

Скалярная величина — физическая величина, которая имеет только одну характеристику — численное значение.

Цена деления — это значение наименьшего деления (расстояния между двумя ближайшими штрихами) шкалы измерительного прибора, выраженное в единицах измеряемой величины.

Погрешность измерения — величина, равная половине цены деления шкалы прибора.



Механическое движение

На многих предприятиях используют упаковочные автоматы, выполняющие многие сложные операции самостоятельно, без участия человека.

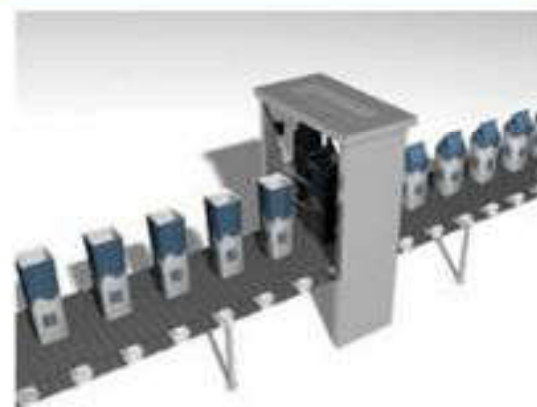
Как объяснить, что исправный упаковочный аппарат никогда не промахивается при закупоривании молочных пакетов, движущихся по ленте транспортера?

На околоземной орбите производится стыковка транспортного корабля с космической станцией.

Как должны двигаться грузовой корабль и космическая станция, чтобы произошла их плавная стыковка?

В спортивных соревнованиях по стендовой стрельбе специальный аппарат выстреливает мишень-тарелку, улетающую от стрелка по разным траекториям.

Каким же образом стрелок все же сбивает тарелку?





§ 6. Механическое движение и его характеристики



Ключевые слова:

- ✓ механическое движение
- ✓ траектория движения
- ✓ материальная точка
- ✓ путь и перемещение тела



На этом уроке вы:

- узнаете физический смысл понятий *траектория, материальная точка, путь и перемещение*.

В окружающем нас мире все находится в непрерывном движении. **Движение** — это неотъемлемое свойство, присущее всем телам и предметам в природе, т. е. всему материальному миру.

Когда мы наблюдаем движущуюся машину, летящий самолет, плавание рыб, облако, плывущее по небу, то говорим, что тело движется. Все эти движения очень разные. Однако объединяет их одно общее свойство: *тела, находящиеся как на Земле, так и в космосе, изменяют свое положение в пространстве относительно других тел.*



Как вы думаете, какие из изображенных на рис. 2.1 тел изменяют свое положение, а какие нет?



Рис. 2.1

Изменение положения тела или отдельных его частей в пространстве относительно других тел с течением времени называется *механическим движением*.

Механическое движение является самым простым видом движения.

Материальная точка. При изучении движения тела довольно часто достаточно описать движение только одной его точки. Так, например, размер самолета, летящего в небе, по сравнению с пройденным им путем, ничтожно мал, поэтому при описании движения самолета его рассматривают как точку.

Во многих случаях при изучении движения тел, если его истинные размеры не играют главной роли, тело можно принимать за *материальную точку*.

Важно помнить, что материальная точка отличается от геометрической тем, что обладает конкретной массой.



Обратите внимание!

Землю можно принимать за материальную точку при изучении ее движения вокруг Солнца. В то же время ее нельзя считать материальной точкой в тех случаях, когда изучают движение каких-либо тел на поверхности Земли.

Траектория. Предположим, что два путешественника решили посетить Астану, находясь в Алматы. Один из них полетел на самолете, а другой поехал на поезде (рис. 2.2).

Вы можете увидеть, что самолет летит почти по прямой линии, а поезд движется по кривой линии. Линии, по которым в действительности движутся самолет и поезд, не совпадают друг с другом. Подобная линия, вдоль которой движется тело, представляет собой траекторию движения.

Траекторией движения называется линия, в каждой точке которой последовательно побывало тело в процессе своего движения.

Траектория представляет собой как бы след, оставленный телом за время движения. Иногда этот след реален, как след от реактивного самолета в небе или на песке от колес автомобиля и др. (рис. 2.3). В большинстве случаев траекторию увидеть невозможно, а иногда ее приходится дорисовывать мысленно, как "след" от полета пчелы или птицы, или брошенного мяча.



Рис. 2.2



Рис. 2.3

Для упрощения изучения механического движения вводят понятие *материальной точки*.

Материальной точкой называется тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.

Путь и перемещение. Если мы хотим изучить движение тела, то нам необходимо знать, из какой точки оно начало двигаться, в какую точку переместилось и какое расстояние при этом прошло. Для определения результата движения необходимо одновременно указать и направление движения, и расстояние между точками начального и конечного положения тела. Для того чтобы определить, куда переместилось тело, вводят особую физическую величину, которая одновременно указывает и направление движения, и величину расстояния между этими точками. Эту величину называют *перемещением*.

Перемещение — это направленный отрезок, соединяющий начальное и конечное положение тела.

Перемещение тела — векторная величина, имеющая направление и числовое значение (модуль). Перемещение обозначают символом \vec{s} со стрелочкой сверху, а модуль перемещения — символом s без стрелочки.

В системе СИ единицей измерения перемещения является метр. Записывается это так: $[\vec{s}] = \text{м}$.

Тела могут попасть из одной и той же точки в другую точку, двигаясь по разным траекториям. Все механические движения по форме траектории делятся на *прямолинейные* и *криволинейные*.

Длина траектории, по которой двигалась точка, называется пройденным путем.

В отличие от перемещения **путь** — скалярная величина, имеющая только числовое значение.

Пройденный путь будем обозначать той же буквой s , что и модуль перемещения. Единицей измерения пути тоже является метр, т. е. $[s] = \text{м}$. Если траектория прямая линия, то пройденный путь равен величине перемещения.



1. Что называют "механическим движением"?
2. Какие виды механического движения вы знаете? Приведите примеры.
3. Какое тело в физике называют "материальной точкой"? С какой целью используется понятие "материальная точка"?
4. В каких случаях движущееся тело обычно рассматривают как материальную точку?
5. Приведите пример, показывающий, что одно и то же тело в одной ситуации можно считать материальной точкой, а в другой — нет.
6. Что называют "траекторией движения"?
7. Какую физическую величину называют "путем"?
8. Каковы единицы измерения пути и перемещения в системе СИ?
9. Может ли численное значение перемещения быть а) больше; б) меньше; в) равным численному значению пути? Приведите примеры таких движений.



1 С помощью сантиметровой ленты измерьте длину своего шага. По пути в школу подсчитайте число шагов и определите перемещение. На листе бумаги изобразите траекторию своего движения и перемещение.

- 2** Измерение пути и модуля перемещения:
- а) положите угольник на лист бумаги формата А4 и отметьте точками A , B и C вершины треугольника и произвольные точки D и E около катетов (см. рис. 2.4). Затем переместите конец карандаша из точки D в точку E , ведя его сначала вдоль сторон треугольника в направлении $DABE$, а затем в направлении DCE ;
 - б) измерьте пути, пройденные концом карандаша относительно листа бумаги в обоих случаях, и запишите данные измерения в тетрадь;
 - в) постройте вектор перемещения конца карандаша относительно листа бумаги. Измерьте его длину и данные измерения запишите в тетрадь;
 - г) сравните длины путей, пройденные концом карандаша, с модулем перемещения;
 - д) отметьте на стороне AB треугольника произвольные точки K и M и переместите конец карандаша из точки K в точку M в направлении $KACBM$;
 - е) измерьте длину пути, пройденного концом карандаша и модуль перемещения в этом случае;
 - ж) сравните длину пути с модулем перемещения во втором опыте;
 - з) сделайте выводы по результатам работы.

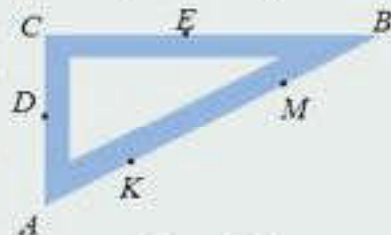


Рис. 2.4

§ 7. Относительность механического движения



Ключевые слова:

- ✓ относительность движения
- ✓ тело отсчета
- ✓ система отсчета
- ✓ скорость

На этом уроке вы:

- узнаете о главной особенности любого движения — его относительности;
- научитесь решать задачи, используя формулу скорости.



Попробуйте ответить на вопрос: как определить, движется или покоится на небе Луна?

Главной особенностью любого движения является его *относительность*. Так, например, для наблюдателя, находящегося в движущемся поезде, пассажиры, сидящие в вагоне, и сам вагон неподвижны, а деревья и здания движутся; а для наблюдателя, стоящего на перроне, неподвижны здания и деревья, зато вагон с пассажирами движется.

Туристы, плывущие по течению реки на плоту, считают себя неподвижными относительно плота и воды. Для наблюдателя, стоящего на берегу, все происходит наоборот. Из этих примеров следует, что движение одних и тех же тел с точки зрения разных наблюдателей выглядит по-разному. Следовательно, для описания движения любого тела нам необходимо сначала выбрать тело, относительно которого будет рассматриваться данное движение.

Тело, относительно которого рассматривают движение, называется телом отсчета.

Тело отсчета условно считается неподвижным, а изучаемые тела могут как двигаться, так и покоиться относительно него. Выбрать тело отсчета необходимо так, чтобы максимально упростить изучение движения тела. Так, например, когда человек едет на машине, то удобнее за тело отсчета взять тело, расположенное на поверхности земли, машина же будет движущимся телом.

Итак, любое механическое движение является относительным.

Система отсчета. С телом отсчета обычно связывают систему координат. Рассмотрим, как можно определить координаты движущегося по озеру катера. О движении катера мы можем судить по изменению его положения относительно, например, березы, растущей на берегу. Если его положение относительно березы меняется, то это значит,



Рис. 2.5

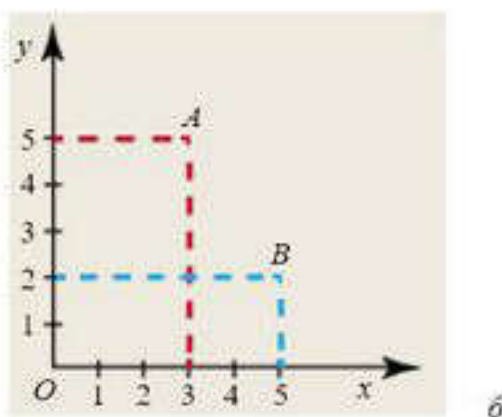


Рис. 2.6

что катер движется относительно березы. Но как узнать, где будет находиться катер в какой-то вполне определенный момент времени относительно все той же березы. Для ответа на этот вопрос мы воспользуемся прямоугольной системой координат, которую свяжем с выбранным нами деревом (рис. 2.5).

Оказывается, что и этого недостаточно. Изменение положения катера относительно березы необходимо фиксировать во времени. Возникает необходимость введения *системы отсчета*.

Система отсчета — это совокупность связанных между собой тела отсчета, системы координат и прибора, отсчитывающего время (часы).

Для удобства тело отсчета обычно помещают в точке пересечения координатных прямых, которую называют *началом отсчета* или *началом координат*.

Напомним, что под **координатной прямой** мы понимаем линию, имеющую направление, точку отсчета и единичный отрезок (рис. 2.6, а).

Система координат в плоскости выглядит так, как изображено на рис. 2.6, б. Горизонтальная ось называется *осью абсцисс*, вертикальная — *осью ординат*. На рис. 2.6, б видно, что точка А имеет координаты 3 и 5, что записывается так: А (3; 5). Если точка А переместится в точку В, то ее координаты изменятся и на координатной плоскости, она будет иметь координаты этой точки, т. е. В (5; 2).



Обратите внимание!

Форма траектории зависит от выбора системы отсчета. Например, траектория движения Луны относительно Земли представляет собой окружность, а относительно Солнца — линию более сложной формы. На рис. 2.7, а и 2.7, б изображены виды этих траекторий.



а



б

Рис. 2.7



Задания для развития критического мышления!

Попробуйте представить себе траекторию движения пловца, переплывающего реку, двигаясь перпендикулярно к ее берегам: а) относительно берега; б) относительно плота, плывущего по течению реки.

Изменится ли вид траектории, если пловец, переплывающий реку, начнет уставать?



Рис. 2.8



Пассажир отъезжающего с вокзала поезда будет считать, что предметы, лежащие на полках вагона, неподвижны, а проводящие его люди, стоящие на перроне, будут утверждать, что эти предметы вместе с пассажиром движутся. Кто же из них прав?

Скорость. Посмотрев внимательно на рис. 2.8, мы не сможем определить, движутся или покоятся три машины, изображенные на верхнем рисунке.

Если известно расположение тел только для одного момента времени, то по этому расположению нельзя определить состояние движения тел в этот промежуток. Всякий раз, когда нам необходимо определить характер движения тела в данный момент времени, необходимо знать его положение через некоторое время. И только, сравнив положения (рис. 2.8) машин через этот промежуток времени, можно отметить, что первая машина осталась в покое, вторая и третья двигались, но по-разному.

Для того чтобы выяснить характер движения тела, нам необходимо сравнить положение тела для двух близких моментов времени. В результате этого сравнения мы можем узнать быстроту изменения перемещения. Чтобы оценить быстроту изменения перемещения за рассмотренный промежуток времени, ввели новую физическую величину, которую назвали *скоростью*.

Скорость — это физическая величина, характеризующая быстроту движения тела и определяемая его перемещением, совершенным за единицу времени.

Если величина скорости второй и третьей машин одинаковая, их движение все равно отличается, так как одна из них движется

прямолинейно, а другая меняет направление движения. Чтобы учесть и этот факт, в физике ввели особые величины, которые называются *векторными величинами*.

Скорость — это векторная величина, обозначается буквой \vec{v} :

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

Напомним, что перемещение \vec{s} тоже является векторной величиной.

В курсе физики для 7 класса мы изучаем самое простое движение — *прямолинейное*, при котором траектория движения — *прямая линия*. При прямолинейном равномерном движении величина перемещения и пройденного пути равны. Величину скорости в этом случае вычисляют по формуле:

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

В системе СИ скорость измеряется в метрах в секунду: $[v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}$. На практике часто применяется и такая единица скорости, как километр в час: $[v] = \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Например, скорость автомобиля — $80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, скорость пешехода — $5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

В силу резко континентального климата в Казахстане скорость ветра иногда достигает 200 км/ч. Например, в Джунгарских Воротах скорость ветра — 360 км/ч. Энергию ветра можно использовать для получения электрического тока.

При решении практических задач часто приходится переходить от одних единиц измерения в другие. Для перевода значения скорости, выраженного в километрах в час, в метры в секунду, нужно данное значение разделить на 3,6.

Пример :

$$54 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 54 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{54 \text{ м}}{3,6 \text{ с}} = 15 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Для того чтобы перевести значение скорости, выраженное в метрах в секунду, в километры в час, нужно это значение умножить на 3,6.

Пример :

$$12 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 12 \frac{\frac{1}{1000} \text{ км}}{\frac{1}{3600} \text{ ч}} = 12 \cdot 3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = 43,2 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$



Человеку нравится ощущение скорости. Неслучайно в олимпийском девизе на первом месте стоит слово "быстрее".

Скорость измеряют с помощью особого прибора — спидометра. Если спидометр показывает скорость, равную 1 м/с, то это означает, что перемещение тела за 1 с равно 1 м. Ясно, что если одно тело совершает перемещение 100 м за 1 с, а другое — 100 м за 10 с, то скорость второго меньше скорости первого.

Наукой установлено, что существует предельное значение скорости движения материальных объектов, равное скорости света в вакууме:

$$c = 300\,000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с.}$$

Это самая большая скорость в природе.



1. Какое тело называют "телом отсчета"? Какие тела выбирают в качестве тел отсчета?
2. Что называется "системой отсчета"? Почему, говоря о механическом движении, необходимо указывать систему отсчета?
3. Движение одного и того же тела можно описывать в разных системах отсчета. Изменится ли характер движения тела при переходе из одной системы отсчета в другую?
4. Какую форму относительно земли имеют траектории движения а) детей, катающихся на карусели; б) колесо велосипеда; в) карандаш, скатывающийся со стола?
5. Водитель легкового автомобиля догоняет грузовую машину. Ему кажется, что грузовая машина приближается к нему. Как это объяснить?
6. Воздушный шар оказался в сплошном тумане. Может ли воздухоплаватель, не пользуясь приборами, определить направление полета?
7. Приведите примеры случаев, когда одно и то же тело неподвижно относительно одних тел и движется относительно других.
8. Какая физическая величина называется "скоростью"?
9. Можно ли определить местонахождение тела, зная только модуль скорости?
10. Скорость — величина векторная или скалярная? Обоснуйте свой ответ.



1

Отмерьте на улице расстояние, равное 100 м. Отметьте по часам, за какое время вы пройдете это расстояние. Вычислите, за какое время вы прошли бы расстояние, равное 1 км, 5 км.

- 2** Измерьте длину минутной и секундной стрелок настенных часов и вычислите длину окружности (т. е. путь, который пройдет конец минутной стрелки за 1 ч, а конец секундной стрелки за 1 мин) по формуле: $l = 2\pi R$. Определите скорости конца минутной и секундной стрелок в системе СИ и сравните их. Число $\pi = 3,14$.
- 3** Наблюдение относительности движения и сложение перемещений:
- Расположите две линейки на столе параллельно друг другу, совместив начало линеек. На одну из них поместите брусок, совместив начало бруска с нулем линейки. Переместите линейку, на которой лежит брусок, и сам брусок вдоль второй, неподвижной линейки, в одну сторону на некоторое расстояние;
 - измерьте модули перемещений: 1) бруска относительно подвижной линейки s_1 ; 2) подвижной линейки относительно неподвижной s_2 ; 3) бруска относительно неподвижной линейки s ;
 - вычислите модуль перемещения бруска относительно неподвижной линейки по формуле $s = s_1 + s_2$ и сравните его с результатом, полученном при измерении;
 - сделайте выводы по работе и ответьте на вопрос: является ли перемещение относительной величиной?



1 Мальчик скатывается с горы на велосипеде. Что вы можете сказать о движении мальчика относительно: а) земли; б) рамы велосипеда; в) колеса велосипеда?

2 Поезд, двигавшийся прямолинейно, начинает поворачивать. Двигутся ли относительно друг друга первый и последний вагоны поезда?

3 Туристу нужно пройти путь, равный 10 км, за 2 ч. С какой скоростью ему необходимо идти?

4 Прямолинейно или криволинейно движутся: а) человек на эскалаторе метро; б) лыжник, прыгающий с трамплина; в) игла швейной машинки; г) стрелки часов; д) колесо обозрения в парке.

5 На примере движения велосипеда (рис. 2.9) укажите траекторию точки S на ободе колеса относительно обода, рамы велосипеда, поверхности Земли.

6 Скорость зайца 17 м/с, дельфина — 900 м/мин, черепахи — 830 см/мин, ге-

парда — 112 км/ч. Во сколько раз самая большая скорость из них больше самой маленькой?

7 Один велосипедист в течение 24 с двигался со скоростью 10 м/с, а второй проехал этот же участок за 36 с. Какова скорость второго велосипедиста на этом участке пути?

8 Определите скорость течения воды в Иртыше на участке, где скорость грузового теплохода по течению реки равна 600 км/сутки, а против течения — 336 км/сутки.



Рис. 2.9

§ 8. Прямолинейное равномерное и неравномерное движение



Ключевые слова:

- ✓ прямолинейное равномерное движение
- ✓ прямолинейное неравномерное движение
- ✓ средняя скорость
- ✓ уравнение движения



На этом уроке вы:

- научитесь различать прямолинейное равномерное и неравномерное движение;
- усвоите понятие *средняя скорость*.
- научитесь записывать уравнения движения.

Прямолинейное равномерное движение. Тела могут перемещаться в пространстве по-разному: как с изменяющейся скоростью, так и с неизменной; как по криволинейной траектории, так и по прямолинейной.

Среди разнообразных механических движений тел встречается прямолинейное равномерное движение.

Прямолинейным равномерным движением называется такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения, не изменяя направление движения.

При таком движении скорость тела остается неизменной как по величине, так и по направлению.

Прямолинейное равномерное движение встречается в природе не часто, но в течение небольшого времени многие тела могут двигаться с неизменной скоростью по прямолинейной траектории.

Рассмотрим процесс перемещения электровоза по прямолинейному железнодорожному полотну. Пусть он движется равномерно. Тогда величина перемещения и пройденного пути будет одинаковой. Найти ее мы сможем по формуле:

$$s = vt. \quad (8.1)$$

На рис. 2.10 отмечено начальное положение электровоза x_0 и его конечное положение x_1 . Из рисунка видно, что величину перемещения и пути (движение прямолинейное) можно найти так:

$$s = x_1 - x_0.$$



Рис. 2.10

Следовательно, чтобы найти координату электровоза x в любой момент времени, необходимо к его начальной координате x_0 прибавить величину перемещения:

$$x = x_0 + s. \quad (8.2)$$

Подставив в формулу (8.2) перемещение из формулы (8.1), получим:

$$x = x_0 + vt. \quad (8.3)$$

Это выражение называется *уравнением равномерного прямолинейного движения материальной точки*.

По уравнению (8.3) можно найти координату любого тела, движущегося прямолинейно и равномерно в любой момент времени.

Прямолинейное неравномерное движение. Средняя скорость. Движения тел, происходящие в реальной жизни, не являются равномерными. *Прямолинейным неравномерным движением* называется такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает различные перемещения, не изменяя направление движения. Так, например, автобус, трогаясь с остановки, постепенно увеличивает свою скорость, а подъезжая к остановке, наоборот, уменьшает ее. Получается, что в разные моменты времени его скорость различна.

Еще раз напоминаем, что в курсе физики 7 класса мы рассматриваем только прямолинейное движение, при котором величина пройденного пути и перемещения одинакова.

Если шарик будет скатываться по наклонному желобу вниз, то его скорость будет возрастать, а при движении этого же шарика вверх — уменьшаться (рис. 2.11). Тележка, движущаяся по горизонтальной поверхности под действием груза, прикрепленного к ней через блок (рис. 2.12), тоже будет двигаться неравномерно.

Говоря о скорости тела при неравномерном движении, обычно имеют в виду среднюю скорость $v_{\text{ср}}$ движения тела. Так, например, называют числовое значение скорости поезда, идущего из Астаны в Алматы, или летящего самолета между этими городами. Значит,

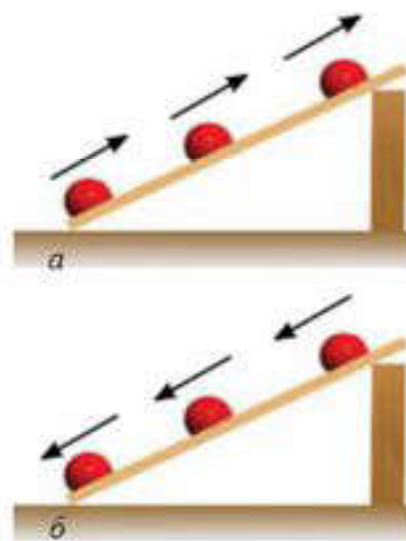


Рис. 2.11



Проанализируйте движение тележки, изображенной на рис. 2.12, и опишите характер этого движения. Обоснуйте ход ваших рассуждений.



Рис. 2.12

чтобы определить среднюю скорость $v_{\text{ср}}$ тела при неравномерном движении, надо весь пройденный путь (перемещение) s разделить на все время t движения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$



Обратите внимание!

Не следует путать среднюю скорость со средней арифметической скоростью, которую находят, как и любую среднюю арифметическую величину:

$$v_{\text{ср. ариф.}} = \frac{(v_1 + v_2)}{2}.$$



1. Какое движение называется "равномерным прямолинейным"?
2. Каким образом рассчитывают путь при равномерном прямолинейном движении?
3. Каким уравнением описывается равномерное прямолинейное движение?
4. Какое движение называют "неравномерным"? Приведите примеры такого движения.
5. Какая скорость характеризует неравномерное движение?
6. Как вы думаете, можно ли определить положение тела в любой момент времени, зная его среднюю скорость? Почему?
7. По какой формуле рассчитывают среднюю скорость неравномерного движения?



1. Определите пройденный путь, перемещение и среднюю скорость своего движения между соседними домами, двигаясь в одном направлении спокойным шагом. Время движения измерьте с помощью часов с секундной стрелкой.
2. Рассмотрите спидометр автомобиля. Для какой цели он устанавливается? О чем говорят колебания стрелок спидометров при движении?

Примеры решения задач

Задача 1. Поезд, двигаясь равномерно, за 2 ч проходит путь, равный 120 км. Вычислите скорость движения поезда.

Дано:	СИ
$s = 120 \text{ км}$	$120\,000 \text{ м}$
$t = 2 \text{ ч}$	7200 с
$v = ?$	

Решение. Скорость равномерного движения поезда определяем по формуле:

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

где s — пройденный поездом путь.

Рассчитаем скорость поезда:

$$v = \frac{120 \text{ км}}{2 \text{ ч}} = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}, \quad v = \frac{120\,000 \text{ м}}{7200 \text{ с}} \approx 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: $v = 60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ или $v \approx 16,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Задача 2. Пассажирский поезд проходит первые 25 км за 45 мин, следующие 25 км за 30 мин и еще 25 км за 15 мин. Чему равна средняя скорость поезда на всем пути в 60 км?

Дано:
$s_1 = s_2 = s_3 = 25 \text{ км}$
$t_1 = 45 \text{ мин}$
$t_2 = 30 \text{ мин}$
$t_3 = 15 \text{ мин}$
$v_{\text{ср}} = ?$

Решение. Среднюю скорость движения поезда определяем по формуле:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t},$$

где s — весь пройденный поездом путь.

$$s = s_1 + s_2 + s_3;$$

t — все время движения.

Переведем время в часы и найдем все время движения:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = (0,75 + 0,5 + 0,25) \text{ ч} = 1,5 \text{ ч}.$$

Следовательно, $v_{\text{ср}} = \frac{25 \text{ км} + 25 \text{ км} + 25 \text{ км}}{0,75 + 0,5 + 0,25} = \frac{75 \text{ км}}{1,5 \text{ ч}} = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Ответ: $v_{\text{ср}} = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Задача 3. Автомобиль, двигаясь прямолинейно, прошел половину пути со скоростью 80 км/ч, а вторую половину — со скоростью 20 км/ч. Определите среднюю скорость на всем пути.

Дано:
$v_1 = 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$
$v_2 = 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$
$s_1 = s_2 = \frac{s}{2}$
$v_{\text{ср}} = ?$

Решение. Изобразим ситуацию, описанную в задаче (рис. 2.13). По определению, средняя скорость

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}, \tag{1}$$

где t — все время движения. Его удобнее выразить в часах. Оно складывается из времени движения на первой половине пути $t_1 = \frac{s}{2v_1}$ и



Рис. 2.13

времени движения на второй половине пути $t_2 = \frac{s}{2v_2}$. Подставив эти значения времени в формулу (1), получим:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{\frac{s}{2v_1} + \frac{s}{2v_2}} = \frac{s}{\frac{s}{2} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right)} = \frac{2v_1v_2}{v_1 + v_2}. \quad (2)$$

Подставив в формулу (2) численные значения, получим:

$$v_{\text{ср}} = \frac{2 \cdot 80 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}}{80 \frac{\text{км}}{\text{ч}} + 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}} = 32 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ : $v_{\text{ср}} = 32 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.



Обратите внимание!

Если рассчитать среднюю арифметическую скорость этого движения, то следует:

$$v_{\text{ср. ариф.}} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} = \frac{80 \frac{\text{км}}{\text{ч}} + 20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}}{2} = 50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Это убеждает нас, что средняя скорость не равна средней арифметической скорости.



1 Эскалатор метро движется со скоростью 80 м/с. Найдите время, за которое пассажир переместится на 64 м относительно земли, если он сам идет в направлении движения со скоростью 0,2 м/с в системе отсчета, связанной с эскалатором.

2 Легковой и грузовой автомобили движутся с одинаковыми скоростями; равными 50 км/ч. Опишите движение легкового автомобиля в системе отсчета, связанной: а) с землей, б) с грузовым автомобилем. Рассмотрите два случая: автомобили движутся в одном направлении и навстречу друг другу.

3 Автомобиль двигался со скоростью 10 м/с первую половину пути, а вторую — со скоростью 72 км/ч. Определите среднюю скорость движения автомобиля на всем пути.

4 1/3 часть пути человек ехал на велосипеде со скоростью 15 км/ч, а остаток

пути шел со скоростью 5 км/ч. Какова его средняя скорость на протяжении пути?

5 Пешеход часть пути прошел со скоростью 3 км/ч, затратив на это 2/3 всего времени движения. Оставшуюся часть пути он прошел со скоростью 6 км/ч. Какова средняя скорость движения пешехода на всем пути?

6 Автомобиль проехал половину пути со скоростью 60 км/ч, половину оставшегося времени со скоростью 15 км/ч, а последний участок — со скоростью 45 км/ч. Какова средняя скорость автомобиля на всем пути?

7 Из г. Алматы выехали с одинаковыми скоростями два автомобиля, причем второй на 12 мин позже первого. Они поочередно, с интервалом в 14 мин, обогнали одного и того же велосипедиста. Во сколько раз скорость автомобилей больше скорости велосипедиста?

§ 9. Графическое представление движения

На этом уроке вы:

- научитесь строить графики зависимости координаты и скорости от времени для различных движений;
- узнаете, как определять по графику характер движения тела, скорость и координату тела.



Ключевые слова:

- ✓ график движения
- ✓ график скорости

Любое движение можно изобразить графически. Это дает возможность представить его более наглядно. Для этого по оси абсцисс откладываем время движения, а по оси ординат — значения координат тела в выбранном масштабе. Далее используем уравнение движения тела, движущегося равномерно и прямолинейно:

$$x = x_0 + vt.$$

Используя это уравнение, строим график зависимости координаты тела x от времени его движения t . Полученная линия покажет нам, как меняется координата тела со временем.

Для простоты рассмотрим случай, когда тело, находившееся в момент времени $t = 0$ в точке с координатой $x_0 = 4$ м, стало двигаться в положительном направлении координатной оси со скоростью $v = 2$ м/с. Закон движения этого тела будет выглядеть так:

$$x = 4 + 2t. \quad (9.1)$$

Из курса математики известно, что такая зависимость представляет собой прямую линию. А для того чтобы построить прямую линию, достаточно иметь только две точки, так как через две точки можно провести только одну прямую. Подставляя в формулу (9.1) два произвольных значения времени, например 0 с и 2 с, получим два значения координаты 4 м и 8 м (см. табл.):

Таблица

Время t , с	0	2
Координата точки x , м	4	8

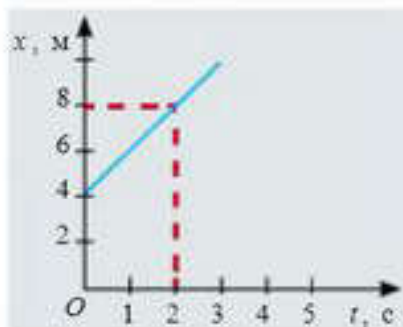


Рис. 2.14

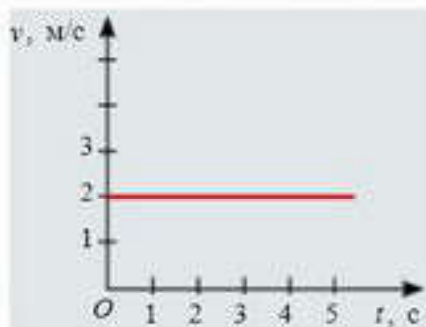


Рис. 2.15

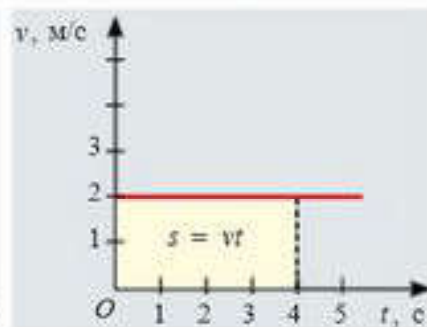


Рис. 2.16



По графику координаты тела легко описать характер его движения. Попробуйте “прочитать”, как двигались тела 1, 2 и 3, графики движения которых даны на рис. 2.17.

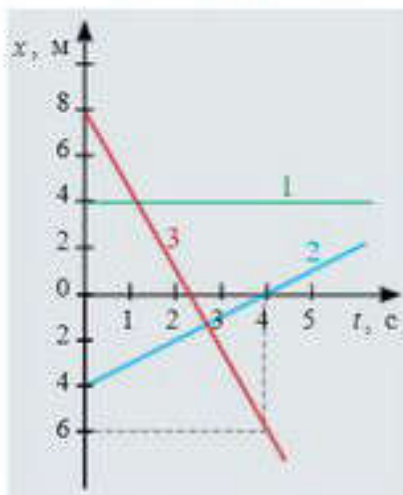


Рис. 2.17

Таким образом можно утверждать, что координата точки, движущейся равномерно и прямолинейно, является линейной функцией времени, что хорошо видно на рис. 2.14.

По графику, изображенному на рис. 2.14 можно “прочитать”, что в момент начала наблюдений тело находилось в точке с координатой $x_0 = 4$ м и двигалось в направлении, выбранном положительным.

Если по оси ординат откладывать значения скорости, а по оси абсцисс — время, то получим график скорости. В нашем случае он будет выглядеть как на рис. 2.15.

По графику скорости легко определить путь, пройденный телом. Для этого нужно вычислить площадь фигуры, ограниченной графиком скорости и линией, перпендикулярной оси времени и проходящей через данное значение времени (рис. 2.16).

$$\text{Получим: } s = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 4 \text{ с} = 8 \text{ м.}$$



1. Что означает выражение “изобразите движение тела графически”?
2. Объясните выражение “прочитайте график движения тела”.
3. Как построить график зависимости координаты тела от времени?
4. Тело движется в положительном направлении оси x со скоростью 5 м/с. Постройте график зависимости скорости тела от времени.
5. Как, используя график скорости, рассчитать путь, пройденный телом за определенное время?
6. На рис. 2.17 приведены графики зависимости координат трех тел от времени. Что означают точки пересечения этих графиков: а) друг с другом; б) с осями координат?



1 На рис. 2.18 дан график зависимости скорости точки, движущейся по прямой, от времени. Опишите характер движения точки. Постройте график зависимости координаты от времени, если начальная координата точки равна 400 м.

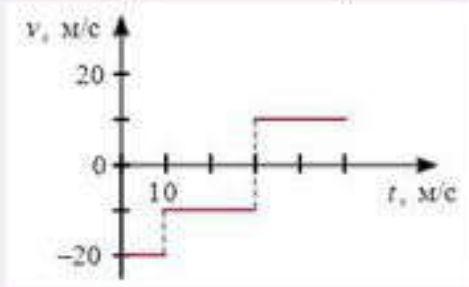


Рис. 2.18

2 Комбайн движется равномерно и прямолинейно со скоростью 24 км/ч в течение 10 мин, затем стоит в течение 5 мин, после чего движется в обратном направлении со скоростью 36 км/ч в течение 8 мин. Изобразите характер движения комбайна на графике $x = f(t)$.

3 Шарик, скатываясь с наклонной плоскости длиной 1,2 м, потратил на это 2 с. Затем, до полной остановки, он проехал по горизонтальной поверхности 3,6 м. На это у него ушло 3 с. Какова средняя скорость шарика на каждом участке и на всем пути?

4 Как будет выглядеть график зависимости пути от времени для тела, которое двигалось 15 с со скоростью 4 м/с, затем в течение 20 с стояло, после чего проехало еще 10 с со скоростью 10 м/с в том же направлении?

5 На рис. 2.19 дан график зависимости координаты точки от времени. Определите скорости точки за отдельные интервалы времени. Опишите, как двигалась точка в течение первых четырех секунд; в течение следующих двух секунд; в интервале от 6 до 8 с. Постройте графики скорости координаты в зависимости от времени.

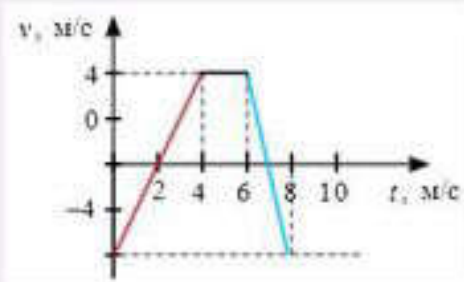


Рис. 2.19

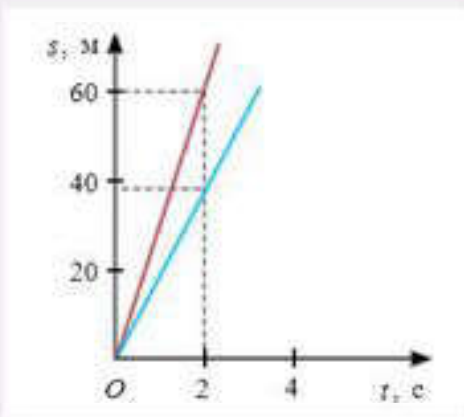


Рис. 2.20

6 По графику рис. 2.20 определите скорости движения тел.

7 Расстояние между городами А и В составляет 250 км. Одновременно из обоих городов выезжают два автомобиля. Скорость автомобиля, выехавшего из города А, равна 60 км/ч, скорость второго равна 40 км/ч. Постройте графики зависимости пути от времени для каждого автомобиля и по ним определите место и время встречи автомобилей. Решите задачу аналитически и сравните с графическим решением.

8 Вдоль оси Ox движутся два тела: первое согласно уравнению $x_1 = -10 + 2t$, а второе согласно уравнению $x_2 = 4 - 5t$. В какой момент времени и в какой точке они встретятся? Задачу решить аналитически и графически.

Примеры решения задач

Рассмотрим примеры решения задач на механическое движение. Напоминаем вам, что прежде чем приступить к задаче, необходимо внимательно прочитать ее условие и представить явление, описанное в ней. Затем нужно найти законы, описывающие это явление, и записать их на языке математики. После этого составляем условие задачи в краткой форме, принятой в физике. Желательно решение задач сопровождать рисунками, схемами или графиками. Единицы измерения физических величин необходимо выразить в системе СИ.

Задача 1. Самолет летит со скоростью 864 км/ч. Какое расстояние пролетит самолет за 12 мин?

Дано: $v = 864 \text{ км/ч}$ $t = 12 \text{ мин}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $s = ?$	СИ 240 м/с 720 с	Решение. Сначала переведем единицы измерения физических величин в систему СИ. Напоминаем, как выразить скорость и время в СИ:
--	------------------------	--

$$v = 864 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{864 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{864 \text{ м}}{3,6 \text{ с}} = 240 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 12 \text{ мин} = 12 \cdot 60 \text{ с} = 720 \text{ с}$$

После того как оформлена краткая запись задачи, а единицы измерения переведены в СИ, приступаем к непосредственному разбору явления, описанного в задаче, в которой сказано, что самолет летит с постоянной скоростью, т. е. движение равномерное. Путь при равномерном движении можно рассчитать по формуле:

$$s = vt.$$

Теперь проверим размерность данной величины: $[s] = \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{м}$.
 Произведем вычисления:

$$s = 240 \cdot 720 = 172\,800 \text{ м} = 172,8 \text{ км}$$

Ответ : $s = 172,8 \text{ км}$.

Задача 2. Скорость автомобиля 72 км/ч, а скорость ветра 5 м/с. Какова скорость ветра в системе отсчета, связанной с автомобилем? Рассмотреть два случая: ветер а) встречный; б) попутный.

Дано: $v_1 = 72 \text{ км/ч}$ $v_2 = 5 \text{ м/с}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $v_{\text{отн.}} = ?$	СИ 20 м/с	Решение. Сначала выразим скорость автомобиля в СИ:
--	--------------	---

$$v_1 = \frac{72 \text{ м}}{3,6 \text{ с}} = 20 \text{ м/с}$$

Перейдем в систему отсчета, связанную с автомобилем. В этой системе автомобиль покоится, земля будет двигаться со скоростью 72 км/ч навстречу автомобилю, а значит воздух вместе с землей движется с такой же скоростью в том же направлении. Воспользовавшись законом сложения скоростей, будем иметь $\vec{v}_{отн} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2$.

а) Ветер дует навстречу автомобилю, значит скорости складываются:

$$v_{отн} = (20 + 5) \text{ м/с} = 25 \text{ м/с}.$$

б) В случае попутного ветра скорости вычитаются, так как в системе отсчета, связанной с автомобилем, ветер дует в сторону, противоположную движению воздуха:

$$v_{отн} = (20 - 5) \text{ м/с} = 15 \text{ м/с}.$$

Ответ : а) $v_{отн} = 25 \text{ м/с}$; б) $v_{отн} = 15 \text{ м/с}$.

Задача 3. Автобус и автомобиль движутся прямолинейно и равномерно в одном направлении со скоростями 50 км/ч и 80 км/ч. В начальный момент времени расстояние между ними 24 км. Через какое время автомобиль догонит автобус?

Дано:
 $v_1 = 50 \text{ км/ч}$
 $v_2 = 80 \text{ км/ч}$
 $s = 24 \text{ км}$

 $t = ?$

Решение. Свяжем систему отсчета с автобусом. В этой системе отсчета скорость автомобиля будет равна: $v_{отн} = v_2 - v_1$. Фактически $v_{отн}$ — это скорость сближения машин. Тогда до встречи автомобиль пройдет расстояние $s = v_{отн} t$. Отсюда:

$$t = \frac{s}{v_{отн}} = \frac{s}{v_2 - v_1}.$$

В данной задаче вычисления удобно производить не в системе СИ.

Проверим размерность: $[t] = \frac{\text{км}}{\text{км/ч}} = \text{ч}.$

Произведем вычисления: $t = \frac{24}{80 - 50} = \frac{24}{30} = 0,8 \text{ ч} = 48 \text{ мин}.$

Ответ : $t = 48 \text{ мин}.$

Задача 4. Пассажир, прогуливаясь по перрону, замечает, что мимо трех вагонов он проходит за 2 мин. Длина одного вагона 25 м. Определите скорость пассажира и время, в течение которого он пройдет мимо всего поезда, состоящего из 24 вагонов.

Дано:
 $t_1 = 2 \text{ мин}$
 $s_0 = 25 \text{ м}$
 $n_1 = 3$
 $n = 24$

 $v = ?$ $t = ?$

СИ
 120 с

Решение. Считая, что пассажир идет по перрону равномерно, найдем его скорость:

$$v = \frac{s_1}{t_1} = \frac{s_0 n_1}{t_1}, \quad (1)$$

где s_1 — длина трех вагонов, s_0 — длина одного вагона.

Произведем вычисления: $v = \frac{25 \text{ м} \cdot 3}{120 \text{ с}} = 0,625 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Скорость пассажира можно рассчитать и по-другому:

$$v = \frac{s}{t} = \frac{s_0 n}{t},$$

где n — число всех вагонов.

Отсюда найдем время t , за которое пассажир пройдет мимо всего состава:

$$t = \frac{s_0 n}{v}. \quad (2)$$

Подставив в (2) значение скорости из (1), получим:

$$t = \frac{s_0 n t_1}{s_0 n_1} = \frac{n t_1}{n_1}.$$

Следовательно, $t = \frac{24 \cdot 120 \text{ с}}{3} = 960 \text{ с} = 16 \text{ мин}$.

Ответ : $t = 16 \text{ мин}$.

Задача 5. Катер отплывает от пристани, находящейся на берегу озера, и через 15 м его скорость становится равной 10 м/с. Определите координату катера через 20 с после этого, считая его дальнейшее движение равномерным.

Дано:
 $v = 10 \text{ м/с}$
 $t_1 = 20 \text{ с}$
 $x_0 = 15 \text{ м}$
 $x_1 = ?$

Решение. Движение катера равномерное, поэтому уравнение движения катера выглядит так:

$$x = x_0 + vt.$$

В нашем случае имеем:

$$x = 15 + 10t.$$

Тогда координата катера к моменту времени t_1 будет равна:

$$x_1 = 15 + 10t_1$$

или

$$x_1 = 15 \text{ м} + 10 \text{ м/с} \cdot 20 \text{ с} = 215 \text{ м}.$$

Ответ : $x_1 = 215 \text{ м}$.

Задача 6. Из города A в город B со скоростью 72 км/ч выехал рейсовый автобус. Одновременно с ним из города B в город A со скоростью 48 км/ч выехал мотоциклист. Определите время и место встречи автобуса и мотоциклиста, если между городами 120 км.

Дано:
 $v_1 = 72 \text{ км/ч}$
 $v_2 = 48 \text{ км/ч}$
 $s = 120 \text{ км}$

$x_1 = ?$ $t_1 = ?$

Решение. Изобразим ситуацию, описанную в задаче, на рис. 2.21. Свяжем систему отсчета с землей, а ее начало поместим в город A . Запишем уравнения движения обоих тел в выбранной системе отсчета:

$$x_1 = v_1 t \quad (1)$$

И

$$x_2 = s - v_2 t. \quad (2)$$



Рис. 2.21

В месте встречи координаты тел одинаковы, поэтому $v_1 t_1 = s - v_2 t_1$. Отсюда выразим время встречи

$$t_1 = \frac{s}{v_1 + v_2}. \quad (3)$$

Проверим размерность $[t_1] = \frac{\text{км}}{\text{км/ч}} = \text{ч}$.

Произведем вычисления: $t_1 = \frac{120}{72 + 48} = 1 \text{ ч}$.

Подставим формулу (3) в формулу (1) и найдем координату места встречи: $x_1 = \frac{v_1 s}{v_1 + v_2}$.

Следовательно, $x_1 = \frac{72 \cdot 120}{120} = 72 \text{ км}$.

Ответ : $t_1 = 1 \text{ ч}$; $x_1 = 72 \text{ км}$.

Задача 7. Скорость катера относительно воды в n раз больше скорости течения реки. Во сколько раз больше по времени займет поездка на катере между двумя пристанями против течения, чем по течению?

Дано:
 $v_k = n \cdot v_m$
 $\frac{t_1}{t_2} = ?$

Решение. Обозначим расстояние между пристанями s . Пусть t_1 и t_2 — время движения катера против и по течению реки соответственно. Тогда относительно берега скорости катера против течения и по течению будут находиться как разность и как сумма скоростей катера и течения реки соответственно:

$$v_1 = v_k - v_m \quad \text{И} \quad v_2 = v_k + v_m.$$

Расстояние между пристанями можно найти $s = v_1 t_1$ (против течения) и $s = v_2 t_2$ (по течению). Тогда

$$s = (v_k - v_m) t_1 = (n v_m - v_m) t_1 = v_m (n - 1) t_1;$$

$$s = (v_k + v_m) t_2 = (n v_m + v_m) t_2 = v_m (n + 1) t_2.$$

Отсюда: $t_1 = \frac{s}{v_m (n - 1)}$ и $t_2 = \frac{s}{v_m (n + 1)}$.

Следовательно, $\frac{t_1}{t_2} = \frac{n + 1}{n - 1}$.

Ответ : $\frac{t_1}{t_2} = \frac{n + 1}{n - 1}$.

Задача 8. По неподвижному эскалатору пассажир поднимается за 4 мин, а эскалатор неподвижно стоящего на нем пассажира поднимает за 2 мин. Сколько времени будет подниматься идущий вверх пассажир по движущемуся эскалатору?

Дано:	СИ	Решение. Обозначим длину эскалатора s . Тогда скорость пассажира равна: $v_1 = \frac{s}{t_1}.$
$t_1 = 4$ мин	240 с	
$t_2 = 2$ мин	120 с	
$t_3 = ?$		

Скорость эскалатора равна: $v_2 = \frac{s}{t_2}$.

Скорость пассажира, идущего по движущемуся эскалатору, равна:

$$v_3 = \frac{s}{t_3}.$$

Так как $v_3 = v_2 + v_1$, то получим, что:

$$\frac{s}{t_1} + \frac{s}{t_2} = \frac{s}{t_3}.$$

Отсюда следует, что $t_3 = \frac{t_1 t_2}{t_1 + t_2}$.

Проверим размерность $[t_3] = \frac{с \cdot с}{с} = с$.

Произведем вычисления: $t_3 = \frac{240 с \cdot 120 с}{240 с + 120 с} = 80 с$.

Ответ : $t_3 = 80 с$.

Самое важное в главе

“Механическое движение”

Все в окружающем нас мире находится в движении, которое носит относительный характер.



Положение тела, движущегося прямолинейно, в любой момент времени можно найти, используя уравнение движения тела:

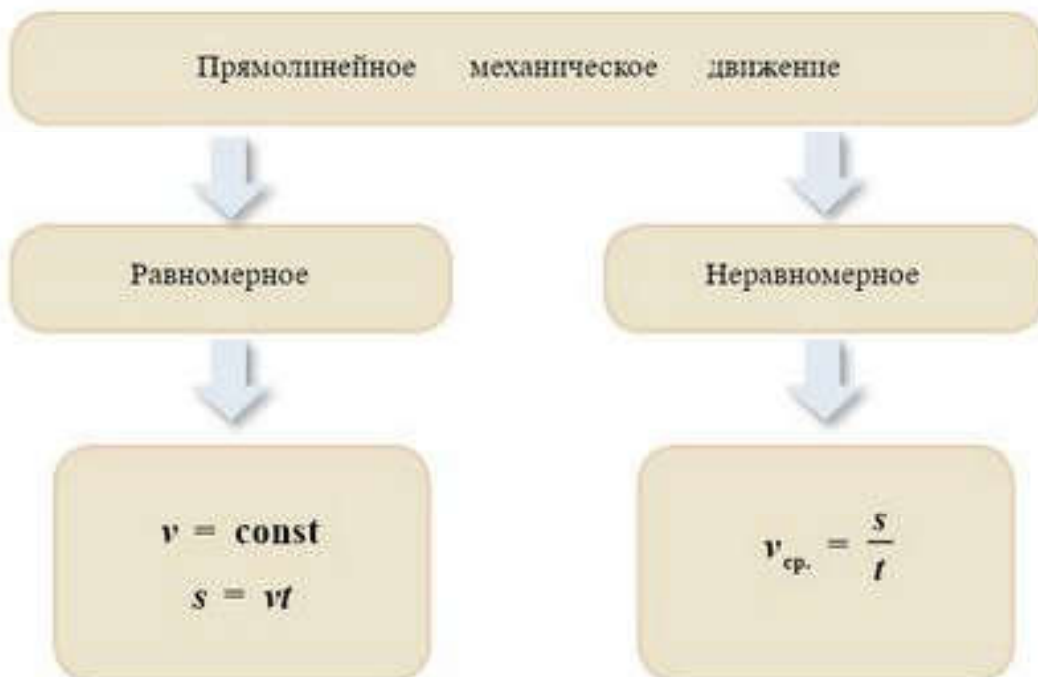
$$x = x_0 + vt.$$



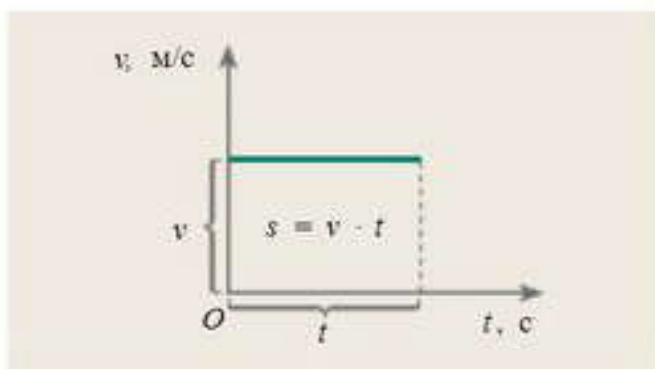
Для того чтобы описать движение тела, необходимо знать уравнение его движения.

Законы движения тела позволяют определить траекторию движения тела, его координату и скорость в любой момент времени.



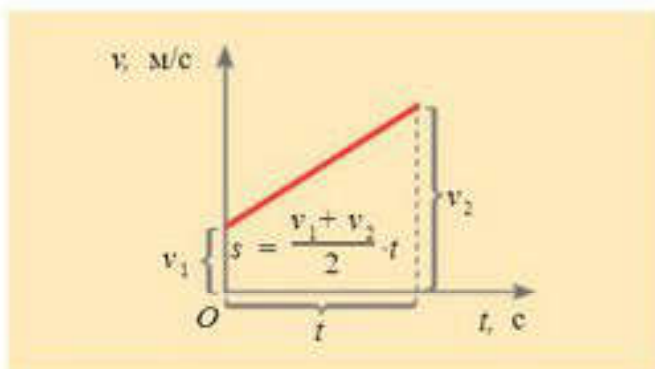


Графическое представление движения



Равномерное движение

Скорость постоянная



Неравномерное движение

Скорость меняется
(средняя скорость)

Взаимодействие тел

У каждого альпиниста есть вершины, которые он хочет покорить.

Каким образом альпинисты взбираются по каменным, а иногда и отвесным скалам? Какую силу они при этом преодолевают?



Одним из важнейших качеств при стрельбе из лука является умение сделать правильный выстрел.

Какая сила заставляет вылетать стрелу?

Где находит применение эта сила?



Трение — полезное или вредное явление? Как можно изменять трение?





§ 10. Молекулярное строение твердых тел, жидкостей и газов



Ключевые слова:

- ✓ атом
- ✓ молекула
- ✓ твердые тела
- ✓ кристаллическая решетка
- ✓ кристаллические тела
- ✓ аморфные тела
- ✓ жидкости
- ✓ газы



Демокрит
(460—370 гг. до н. э.)

Жил в Древней Греции и первым выдвинул гипотезу об атомах. Он не признавал существование нематериальных объектов.

На этом уроке вы:

- узнаете, из чего состоит вещество;
- узнаете о мельчайших частицах вещества — молекулах и атомах;
- научитесь описывать строение твердых, жидких и газообразных тел на основе молекулярного строения вещества.

Человечество издавна интересовалось тайной строения вещества, что помогало решать многие практические задачи. Так, древнегреческий мыслитель Демокрит выдвинул гипотезу о том, что все вещества состоят из мельчайших частиц, которые нельзя наблюдать невооруженным глазом. Он считал, что вещество можно делить до мельчайших частиц этого вещества, а не до бесконечности. Ученый назвал их атомами (по-греч. *атом* означает “неделимый”). Так появилась гипотеза об атомарном строении веществ: **все вещества состоят из атомов, которые необнаружимы из-за своей малости.**

Демокрит также полагал, что атомы в веществе движутся и что все вещества различаются числом атомов, их формой и размерами. Гипотеза Демокрита об атомах не получила опытного подтверждения в то время.

Только в XVIII веке французский физик Гассенди возродил атомистику. Впервые в его трудах появилось слово **молекула** (от лат. слова *молес* — “маленькая масса”).

Верность предположения Демокрита о строении вещества была экспериментально доказана только в начале XX в. Большой вклад в развитие теории строения вещества внес русский ученый М. В. Ломоносов. Он опытным путем доказал, что любое тело состоит из микрочастиц, которые непрерывно и хаотично движутся в теле и взаимодействуют друг с другом. Со времен Ломоносова мельчайшую частицу вещества стали называть *молекулой*.

Молекула — это мельчайшая частичка вещества, определяющая его химические свойства.

Многочисленные опыты показали, что молекулы очень малы. Так, например, диаметр таких веществ, как азот, водород, кислород равен примерно 10^{-7} мм. Масса молекулы также очень мала. Например, масса одной молекулы водорода равна $3,3 \cdot 10^{-27}$ кг, воды — $3,3 \cdot 10^{-26}$ кг. Масса и размеры молекул одного и того же вещества одинаковы.



Ломоносов
Михаил Васильевич
(1711—1765 гг.)

Выдающийся русский ученый. Его работы посвящены физике, химии, астрономии, горному делу, металлургии и др. Основатель молекулярно-кинетической теории строения вещества.

Чтобы представить себе размер молекулы, приведем следующие сравнения: молекула во столько же раз меньше яблока среднего размера, во сколько раз яблоко меньше земного шара. Если молекулу воды увеличить в миллион раз (10^6), то она будет иметь размер в половину точки печатного шрифта этого учебника ($\approx 0,3$ мм). При таком увеличении толщина волоса (0,1 мм) окажется равной 100 м, диаметр вишни (1 см) — 10 км.

Современные технологии позволяют с помощью особых приборов (электронный микроскоп, ионный проектор, туннельный микроскоп) рассмотреть в увеличенном виде молекулы веществ.

Частицы, из которых состоят молекулы веществ, называются *атомами*. Так, молекула воды состоит из двух атомов водорода и одного атома кислорода (рис. 3.1).

Атом — наименьшая частица вещества, не делящаяся при химических реакциях.

Совокупность атомов одного определенного вида называется *химическим элементом*.

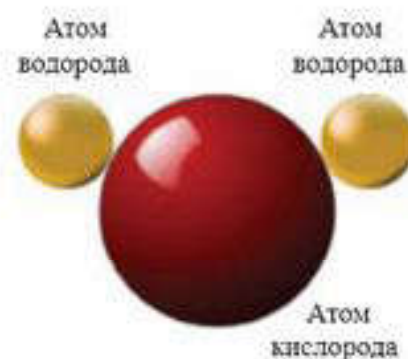


Рис. 3.1



Рис. 3.2

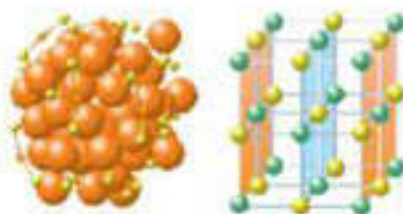


Рис. 3.3



Рис. 3.4

Атомы различных химических элементов отличаются друг от друга массой и размерами.

В начале XX в. было установлено, что атом является сложной частицей и состоит из различных, более мелких частиц. Они называются *электроном, протоном, нейтроном*. С ними вы познакомитесь в старших классах.

Вещества в природе могут находиться в трех агрегатных состояниях: газообразном, жидком и твердом. Так, вода в зависимости от ее температуры может иметь не только жидкое (вода), но и твердое (лед) и газообразное (пар) состояния. Рассмотрим эти состояния тел.

Твердое тело сохраняет объем и имеет определенную форму. Многие из них имеют естественную, правильную, сложную и красивую форму, например снежинки или крупинки соли (рис. 3.2).

Твердое тело трудно сжать или растянуть. Для того чтобы растянуть или сжать стальной стержень, необходимо приложить очень большое усилие. Это связано с тем, что их молекулы находятся близко друг от друга на таких расстояниях, где силы взаимодействия между ними велики. Атомы и молекулы большинства твердых тел расположены в определенном порядке и образуют **кристаллическую решетку** (рис. 3.3). Такие твердые тела называются **кристаллическими** (рис. 3.4).

Молекулы или атомы твердых тел совершают колебательное движение относительно узлов кристаллической решетки. Этим объясняется правильность форм твердых тел и неспособность к растеканию.

Существуют твердые тела, у которых молекулы расположены беспорядочно, они называются **аморфными телами**. К ним относятся стекло, парафин, пластилин.

Жидкое состояние. С этим состоянием вещества мы встречаемся очень часто. Вспом-

ним хотя бы воду, молоко, растительное масло, бензин, нефть.

Для того чтобы выяснить структуру жидкости, обратимся к известным свойствам жидкости.

Жидкости текучи, они имеют собственный объем, но не имеют собственной формы. Их легко перелить из одного сосуда в другой, поэтому они принимают форму сосуда, в который их наливают (рис. 3.5). И только маленькие капельки жидкости имеют свою форму — форму шара. Капельки росы на листьях шарообразны (рис. 3.6), как и капельки ртути, упавшие на стол.

Жидкости мало сжимаемы. Объем жидкости изменить чрезвычайно трудно. Попробуйте сжать воду в сосуде. Вряд ли наши попытки окажутся удачными. Это означает, что жидкость имеет собственный объем.

В жидкостях молекулы плотно упакованы, и расстояния между ними малы. Их трудно сжать, и они имеют собственный объем. Силы притяжения между молекулами жидкости меньше, чем между молекулами твердого тела, поэтому они не сохраняют свою форму.

Характер движения молекул жидкости очень сложен. Они располагаются не так упорядоченно, как молекулы твердых тел, но в большем порядке, чем молекулы газов. Молекулы жидкости совершают колебательное движение относительно положений равновесия, однако с течением времени эти положения равновесия смещаются. Молекулы перескакивают с места на место, поэтому порядка в расположении молекул по всему объему жидкости нет. Жидкости обладают свободной поверхностью. Так, если жидкость не полностью заполняет сосуд, то у нее образуется слой, граничащий с воздухом (рис. 3.7).

Газы не имеют ни собственного объема, ни собственной формы, легко сжимаются. Воздушный шарик легко сжать, надавив

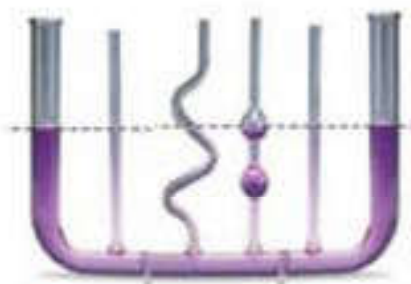


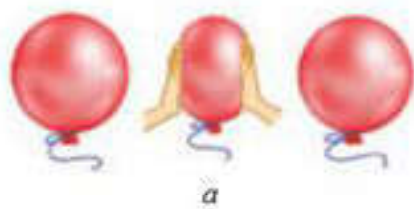
Рис. 3.5



Рис. 3.6



Рис. 3.7



а



б

Рис. 3.8

на него. После прекращения воздействия шарик восстанавливает прежнее состояние (рис. 3.8, а).

Газ занимает весь предоставленный ему объем. Если взять пустую бутылку и капнуть в нее каплю брома (жидкость коричневого цвета), то мы увидим, как постепенно вся бутылка заполняется газом светло-коричневого цвета — парами брома (рис. 3.8).

Газы легко изменяют свою форму, принимая форму сосуда, в котором находятся. Поэтому можно утверждать, что силы притяжения между молекулами газа малы. Это

значит, что молекулы находятся на больших расстояниях друг от друга. Это подтверждается тем, что газы легко сжимаемы.

Кроме того, молекулы в газах непрерывно и хаотично движутся, причем достаточно быстро (скорость их хаотичного движения составляет сотни м/с).

Напоминаем, что молекулы одного и того же вещества в разных агрегатных состояниях одинаковы, различно только их расположение и движение. На рис. 3.9 показано расположение молекул воды в трех агрегатных состояниях: *твердом, жидком и газообразном*.

Расположение молекул воды в разных агрегатных состояниях

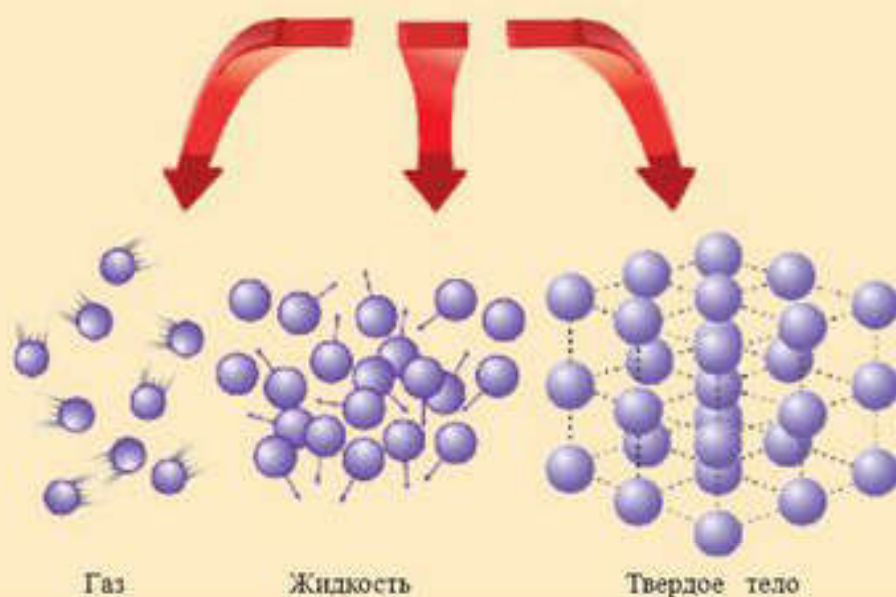


Рис. 3.9



1. Что мы понимаем под "молекулой"?
2. Почему мы уверены в существовании атомов и молекул, ведь они невидимы?
3. Какие доказательства существования молекул вы знаете?
4. В чем отличие атома от молекулы?
5. Какова роль Демокрита, Ломоносова в изучении строения вещества?
6. Как вам известно, молекулы таких веществ, как вода, водяной пар и лед одинаковы. От чего же зависит то или иное агрегатное состояние вещества?
7. Опираясь на молекулярное учение о строении вещества, объясните, почему газ не имеет собственного объема и формы?
8. Опираясь на молекулярное учение о строении вещества, объясните, почему жидкость не сохраняет свою форму, а твердое тело имеет собственную форму.
9. В чем сходство и различие свойств жидкостей и газов? Дайте объяснение, опираясь на молекулярное учение о строении вещества.
10. Назовите свойства твердых тел, отличающих их от жидкостей. В чем сходство и различие молекул льда, воды и водяного пара?



Приведите примеры веществ, находящихся в различных агрегатных состояниях при температурах 0—100 °С. Заполните таблицу.

Твердое	Жидкое	Газообразное



Изготовим сами!

Выращивание кристалла. Вы можете научиться выращивать кристаллы. Для этого привяжите к нитке кристаллик поваренной соли и опустите его в насыщенный раствор этой соли. В течение трех-четырех дней наблюдайте рост кристалла.

§ 11. Движение молекул. Диффузия. Броуновское движение



Ключевые слова:

- ✓ диффузия
- ✓ броуновское движение

На этом уроке вы:

- познакомитесь с явлениями диффузии и броуновского движения

Установим, как ведут себя молекулы и атомы в веществе. Для этого проведем следующие эксперименты.

Опыт 1. Поставим открытый флакон одеколona на подоконник комнаты. Через некоторое время (примерно через 5 мин) мы почувствуем, что запах одеколona распространился по всей комнате. А по прошествии еще некоторого времени (15—20 мин) этот запах будет чувствоваться во всей квартире.

Результаты этого опыта можно объяснить, только предположив, что молекулы одеколona находятся в непрерывном движении. Если бы молекулы одеколona не двигались, то их запах не смог бы распространиться по всей квартире.

Вылетая из флакона, молекулы одеколona сталкиваются с молекулами воздуха и изменяют свою скорость, как по величине, так и по направлению. Поэтому запах одеколona одинаково распространяется во все стороны. Исходя из этого, мы можем высказать предположение о характере движения молекул одеколona: молекулы одеколona движутся непрерывно и хаотично. Распространение запаха одеколona по квартире говорит нам о том, что молекулы одеколona заняли промежутки между молекулами воздуха.

Явление проникновения молекул одного вещества в межмолекулярное пространство другого называется *диффузией*.

Слово *диффузия* в переводе с латинского означает “растекание”, “распространение”.

Явление диффузии происходит не только в газах, но и в жидкостях, и в твердых телах, но гораздо медленнее.

Если повторить эти опыты с нагретыми газами, жидкостями и твердыми телами, то мы увидим, что быстрота протекания диффузии увеличится. Ярким примером этого является более быстрое растворение сахара или соли в горячей воде, чем в холодной.



Анализируя эти опыты, мы можем сделать следующие выводы:

1. Молекулы твердых, жидких и газообразных тел находятся в непрерывном движении.

2. Быстрота движения молекул определяется тем, как нагрето тело.

Все эти эксперименты доказывают, что молекулы в телах находятся в постоянном движении.

Немецкий физик О. Штерн в 1920 г. провел классический опыт, который позволил рассчитать величины средних скоростей движения молекул. Из его опытов следовало, что скорость молекул веществ в газообразном состоянии составляет 1000—3000 км/с.

У животных развито чувство обоняния, благодаря которому, а также явлению диффузии, они легко обнаруживают посторонние запахи на больших расстояниях от себя. Это помогает им обнаруживать как опасность, так и пищу.

Сварка металлов основана на явлении диффузии. Для того чтобы ускорить этот процесс, металлы нагревают с помощью электрического тока.

Окаменение деревьев происходит из-за диффузии атомов кремния в вещество дерева.

Броуновское движение. Другим наглядным примером доказательства непрерывного и хаотичного движения молекул является броуновское движение, обнаруженное английским ботаником Р. Броуном.

Броуновским движением называется непрерывное и хаотичное движение частиц, взвешенных в жидкостях или газах.

В 1827 г. английский ботаник Роберт Броун изучал процесс оплодотворения цветов. Он брал цветочную пыльцу и рассматривал ее под микроскопом.

Случайно на предметном стекле оказалась капелька воды, в которую попала цветочная пыльца. Наблюдая за отдельной частицей пыльцы, попавшей в каплю воды, зажатой между двумя стеклами (рис. 3.10), Броун увидел, что она движется, совершая хаотичные, независимые движения по сложным зигзагообразным траекториям.

Объяснить причину и характер движения частиц пыльцы Броун не смог. В историю же он вошел только как человек, обнаруживший данное явление, которое из-за этого и стало называться *броуновским движением*.

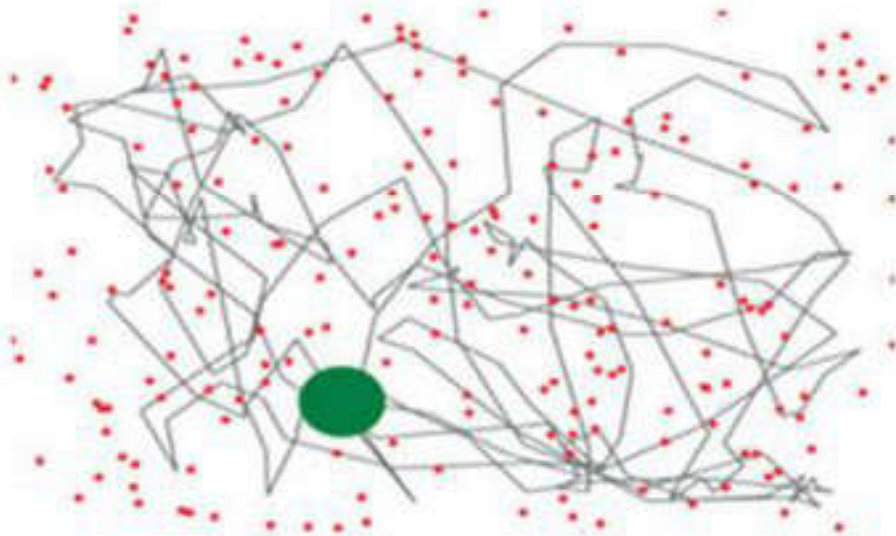


Рис. 3.10

Было замечено, что с ростом температуры возрастает интенсивность броуновского движения. Это происходит потому, что молекулы воды, движущиеся с большей скоростью, сильнее ударяют броуновскую частицу.



1. Какие физические явления доказывают, что молекулы находятся в непрерывном движении?
2. Верно ли утверждение, что молекулы газа движутся, а молекулы твердого тела нет? Ответ поясните.
3. Верно ли утверждение, что молекулы газа движутся быстрее, чем молекулы твердого тела или жидкости? Ответ поясните.
4. Чем отличается характер протекания диффузии в газах, жидких и твердых телах?
5. Предложите способы увеличения скорости протекания диффузии.
6. Как изменится интенсивность броуновского движения при: а) увеличении массы броуновской частицы, б) увеличении температуры? Ответ поясните.
7. Можно ли наблюдать броуновское движение в твердых телах? Почему?

§ 12. Масса и измерение массы тел

На этом уроке вы:

- узнаете, что характеризует масса тела и какое свойство тел называют *инертностью*;
- научитесь измерять массу тел с помощью весов.



Ключевые слова:

- ✓ взаимодействие тел
- ✓ инертность
- ✓ масса тела



Рис. 3.11

Так, например, если мальчик и его отец, стоящие на льду на коньках, оттолкнутся друг от друга, то малыш отъедет на гораздо большее расстояние, чем его отец (рис. 3.11). Почему?

Наблюдая за характером движения тел, на которые действуют другие тела, можно заметить, что одни из них изменяют скорость незначительно, а другие за это же время — очень заметно.

Проведем опыт. Возьмем небольшую тележку с прикрепленной к ней упругой пружиной. Пружина сжата и связана нитью. Тележка покоится относительно стола. Интересно, начнет ли она двигаться после пережигания нити? Мы увидим, что пружина разожмется, но тележка останется на месте (рис. 3.12, а, б).

Теперь поместим рядом с первой вторую, точно такую же, тележку, соприкасающуюся с другим концом пружины. Снова пережжем нить. Что же теперь будет происходить? После того как пружина разожмется, тележки разъедутся на одинаковые рас-

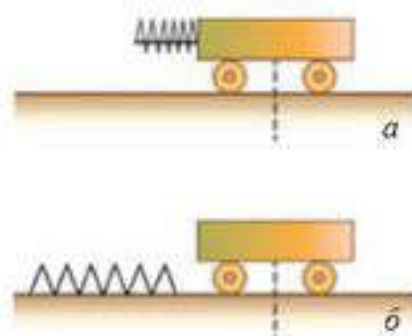


Рис. 3.12

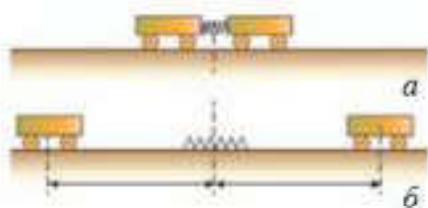


Рис. 3.13

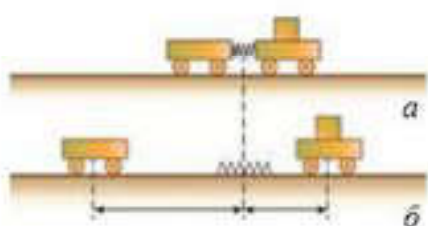


Рис. 3.14

стояния, но в противоположные стороны (рис. 3.13, *а, б*).

Можно заметить, что тележки разъехались только тогда, когда они стали действовать друг на друга посредством пружины. Пружина в этом случае играет роль посредника, т. е. с ее помощью одна тележка действует на другую.

Если же на правую тележку поместить гирию, масса которой в два раза больше массы тележки, то после пережигания нити они снова разъедутся в противоположные стороны, но теперь на разные расстояния (рис. 3.14, *а, б*). Нагруженная тележка приобретает меньшую скорость и за одно и то же время проедет меньшее расстояние. Это происходит потому, что тележки обладают разными массами.

Теперь нам легко объяснить, почему сын в первом опыте отъехал на большее расстояние, чем его отец.

Из этих опытов можно сделать несколько важных выводов:

1. Причиной изменения скоростей тел послужило их действие друг на друга.
2. Действие тел друг на друга называется **взаимодействием**.
3. В результате взаимодействия скорости тел изменяются. У тел с одинаковой массой скорости изменяются одинаково, а с различной — по-разному: массивное тело изменяет свою скорость медленнее, чем более легкое. Математически это записывается так: $\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$.

Из этих опытов следует, что у каждого тела есть свойство “сопротивляться” попыткам изменить состояние его движения или покоя. Это свойство тел называется **инертностью**. Итак, более инертные тела имеют **большую** массу, легкие тела менее инертны, поэтому имеют меньшую массу. Теперь можем сделать вывод:

Масса есть мера инертности тела.

Масса, как и любая физическая величина, может быть измерена. Масса — скалярная величина, ее принято обозначать буквой *m*. Основной единицей измерения массы в системе СИ является килограмм. Как эталон массы, 1 кг был принят Международным соглашением. Этот эталон представляет собой цилиндр из сплава иридия и платины диаметром и высотой 39 мм, который хранится в Международном бюро мер и весов во Франции (рис. 3.15). Массу любого тела можно определять, сравнивая ее с этим эталоном.

Используя эталон массы 1 кг, изготавливают гири с различными массами, которые называются *разновесами* (рис. 3.16).

Разновесы имеют различные массы, например, $1 \text{ г} = 10^{-3} \text{ кг}$, $1 \text{ мг} = 10^{-6} \text{ кг}$. Для взвешивания тел с большими массами используют грузы массами $1 \text{ т} = 10^3 \text{ кг}$.

Массу тела определяют по-разному. Одним из способов является взвешивание тела на весах. Весы бывают разные: *пружинные*, *рычажные* и *электронные* (рис. 3.17).

Рассмотрим процесс взвешивания тела на рычажных весах. На левую чашу весов помещают тело, массу которого необходимо определить, а на правую чашу — разновесы (набор гирь). Уравновешивание весов будет означать, что масса тела измерена и она будет равна суммарной массе гирек на правой чаше весов.

Современные конструкции весов очень разнообразны. Школьные учебные весы позволяют взвешивать тела массами от



Рис. 3.15



Рис. 3.16



Рычажные



Пружинные



Электронные



Рис. 3.17

Взвешивание тел с помощью весов — самый древний из известных способов определения массы. Изображение весов можно найти даже на египетских пирамидах, возраст которых составляет более 4 тыс. лет.





Рис. 3.18

10 мг до 500 г. А вот вагоны и автомашины взвешивают на транспортных весах, рассчитанных на нагрузку до 200 т (рис. 3.18).

Тела массой меньше 10 мг взвешивают на аналитических весах. Однако нет весов для измерения массы очень больших, гигантских тел и мельчайших частиц. При дальнейшем изучении физики вы узнаете, как именно были определены массы Солнца, Земли и таких мельчайших частиц, как электрон и протон.

Понятие “массы” — одно из самых сложных понятий в физике. Оно многогранно и будет раскрываться по мере изучения предмета. Вы уже ознакомились с массой как мерой инертности тела. Далее вы узнаете, что существуют понятия *гравитационной массы* и *массы как меры энергии*.

Говорить об инертной массе имеет смысл только тогда, когда тела движутся со скоростями много меньшими скорости света, т. е. меньше, чем 300 000 км/с.



1. Что называется “взаимодействием тел”?
2. Что происходит с телами при взаимодействии?
3. Какое свойство тел называется “инертностью”?
4. Какая величина характеризует инертность тел?
5. Почему нельзя мгновенно остановиться или мгновенно набрать большую скорость?
6. Почему масса является физической величиной? Назовите единицу измерения массы в системе СИ.
7. Как определить массу тела при помощи рычажных весов?



1. Определите с помощью школьных рычажных весов массу любого небольшого тела на выбор.
2. Поставьте на тележку брусок и потяните ее за веревку. В первый раз сделайте это резко и быстро, во второй раз медленно приведите тележку в движение. Объясните, что произойдет в каждом случае.

§ 13. Плотность вещества и единицы измерения плотности

На этом уроке вы:

- узнаете, что показывает плотность вещества;
- научитесь определять плотность вещества.



Ключевые слова:

✓ плотность вещества

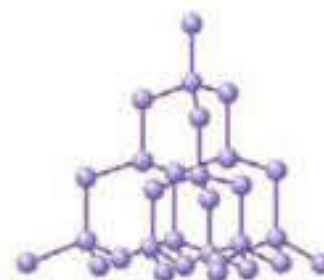
Мы знаем, что любое тело состоит из атомов или молекул. Атомы и молекулы различных веществ отличаются друг от друга своими массами и расположением в теле. Очевидно, что чем больше в данном теле молекул или атомов и чем плотнее они упакованы, тем больше масса этого тела, так как в объеме тела содержится большее количество веществ.

Всем известно, что 1 кг железа занимает гораздо меньший объем, чем 1 кг пробкового дерева. Это означает, что тела одинаковой массы, но изготовленные из различных веществ, занимают разный объем. Как же это можно объяснить?

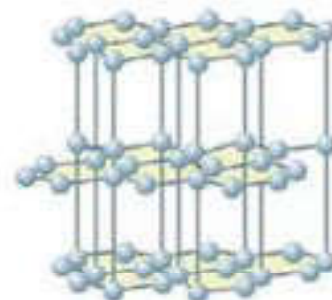
Опыт показывает, что в различных веществах атомы располагаются на разных (хотя и очень малых) расстояниях друг от друга и в различных веществах они по-разному упакованы.

Приведем классический пример: алмаз и графит — это вещества, состоящие из набора одинаковых атомов углерода. Атомы углерода расположены в них по-разному и на различных расстояниях друг от друга. В алмазе атомы углерода упакованы более компактно или, как говорят, более плотно (рис. 3.19, а). Поэтому одинаковые массы алмаза и графита занимают в пространстве разные объемы (алмаз примерно в 1,6 раза меньший).

Следовательно, если атомы вещества расположены так, что в единице объема их много и сами атомы вещества обладают большей массой, то в пространстве тело, изготовленное из этого вещества, будет занимать меньший объем.



Расположение атомов алмаза



Расположение атомов графита

Рис. 3.19, а

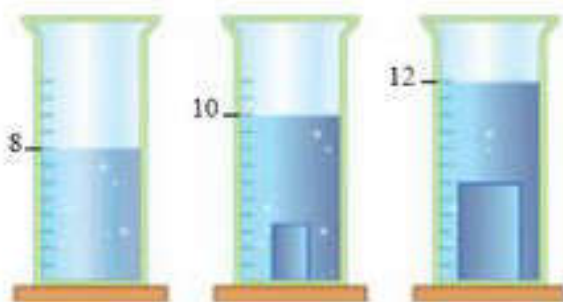


Рис. 3.19, б

Возьмем два разных тела, изготовленных из одного и того же вещества (например, из железа) (рис. 3.19, б) и определим их массы с помощью весов, а объемы с помощью мензурок с водой. Из рисунка видно, что объем первого тела равен 2 мл, а объем второго — 4 мл. Взвешивание показало, что масса второго тела вдвое больше, чем первого.

Отношение масс этих тел к собственным объемам в обоих случаях оказалось одинаковым:

$$\frac{m_1}{V_1} = \frac{m_2}{V_2}.$$

Следовательно, отношение масс веществ к собственному объему характеризует данное вещество, так как оно остается неизменным для любых произвольных масс и объемов этого вещества. Эта величина называется *плотностью вещества*. Обозначают плотность вещества буквой ρ (“ро”). Тогда

$$\rho = \frac{m}{V}. \quad (13.1)$$

Плотность вещества — величина, определяемая массой единичного объема этого вещества. **Плотность вещества** — величина скалярная.

Единицей измерения плотности в Международной системе единиц является: $[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. На практике часто пользуются другой единицей плотности, удобной в лабораторных условиях: $[\rho] = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.



Докажем сами!

Докажите соотношение: $1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Массу тела легко найти, зная плотность вещества, из которого оно изготовлено, и объем тела:

$$m = \rho V. \quad (13.2)$$

Если плотность вещества выражена в $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, то ее можно перевести в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Пример. Плотность железа $7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Выразим ее в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Для этого переведем килограммы в граммы, а кубические метры в кубические сантиметры: $7\,800 \text{ кг} = 7\,800\,000 \text{ г}$ (или $7,8 \cdot 10^6 \text{ г}$), $1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$ (или 10^6 см^3).

$$\text{Тогда } \rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{7,8 \cdot 10^6 \text{ г}}{10^6 \text{ см}^3} = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$



Обратите внимание!

Плотность одного и того же вещества в твердом, жидком и газообразном состояниях различна. Так, плотность льда равна $900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, воды $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а водяного пара $0,590 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

С позиции микроструктуры строения вещества его плотность определяется и упаковкой, и массой самих атомов. Например, среднее расстояние между атомами ртути $\approx 0,3$ нм, а в алюминии $\approx 0,28$ нм. В то же время плотность ртути примерно в 5 раз больше! Почему? Все дело в том, что масса атома ртути в 5 раз больше массы атома алюминия.







Другой пример: масса атомов осмия меньше массы атомов висмута, но плотность его в 2,3 раза больше плотности висмута. Почему? Дело в том, что расстояние между атомами осмия гораздо меньше соответствующих расстояний в висмуте.

Следовательно, плотность вещества отражает его внутреннее строение.

Так, если мы хотим определить массу воды в ведре, объем которого равен 10 л, то сначала выразим 10 л в единицах объема системы СИ. Как известно, $1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3$, тогда $10 \text{ л} = 0,01 \text{ м}^3$. Плотность воды $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Итак, масса воды в ведре:

$$m = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,01 \text{ м}^3 = 10 \text{ кг}.$$

Плотность некоторых веществ, выраженных в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$

					
вода	ртуть	железо	олово	серебро	золото
$m = 1 \text{ г}$	$m = 13,6 \text{ г}$	$m = 7,8 \text{ г}$	$m = 7,3 \text{ г}$	$m = 10,5 \text{ г}$	$m = 19,3 \text{ г}$
$\rho = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho = 13,6 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho = 7,8 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho = 7,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho = 10,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\rho = 19,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$



1. Объясните, почему свинцовый и деревянный шарик одинакового объема имеют разные массы?
2. Какая величина называется "плотностью тела"?
3. Можно ли определить массу тела, не имея весов? Что для этого необходимо знать?
4. Как определить массу тела, зная плотность его вещества?
5. Как определить массу свинцового шарика, имея в распоряжении мензурку и воду?



1. Возьмите небольшой деревянный куб. С помощью линейки измерьте длину ребра куба и вычислите его объем. Найдите плотность дерева по таблице плотностей. Определите массу выбранного куба.
2. Возьмите брусок массой 150—200 г. С помощью линейки измерьте высоту, длину и ширину сторон бруска, а его массу определите с помощью весов. Вычислите объем и плотность бруска. Определите, из какого вещества сделан брусок.
3. Определите массу воды, молока в заполненном доверху стакане. Объем мерного стакана 200 см³.

Примеры решения задач

Задача 1. Свинцовая деталь объемом 250 см³ имеет массу 2,26 кг. Сплошная это деталь или полая? Если деталь полая, то чему равен объем полости?

Дано:

$$m = 2,26 \text{ кг} = 2260 \text{ г}$$

$$\rho = 11,3 \text{ г/см}^3$$

$$V = 250 \text{ см}^3$$

$$V_{\text{п}} = ?$$

Решение. Прежде чем перейти к решению задачи, желательно перевести единицы измерения величин в систему СИ. В нашем же случае удобнее решать, не переводя единицы измерения в систему СИ.

Предположим, что в теле есть полость. Значит, объем тела будет равен сумме объемов полости и свинца, т. е.

$$V = V_{\text{п}} + V_{\text{св}}.$$

Объем свинца равен: $V_{\text{св}} = \frac{m}{\rho}$. Тогда $V_{\text{п}} = V - \frac{m}{\rho}$.

В нашей задаче нам нужно массу перевести из килограмм в граммы, так как остальные величины выражены не в СИ.

Теперь подставим числовые значения физических величин и произведем вычисления. Если объем полости будет равен нулю, то это будет означать, что в теле нет полости.

$$V_{\pi} = 250 - \frac{2260}{11,3} = 250 - 200 = 50 \text{ см}^3.$$

Ответ : полость в теле есть и ее объем $V_{\pi} = 50 \text{ см}^3$.

Задача 2. Масса пробирки, полностью заполненной водой, составляет 50 г. В нее поместили кусок металла массой 12 г, в результате чего общая масса пробирки с водой и металлом составила 60,47 г. Определите вещество, из которого изготовлен металл, опущенный в пробирку.

Дано:

$$m_1 = 50 \text{ г}$$

$$m_0 = 12 \text{ г}$$

$$m_2 = 60,47 \text{ г}$$

$$\rho = 1 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_0 = ?$$

Решение. Прежде чем перейти к решению задачи, желательно перевести единицы измерения величин в систему СИ. В нашем же случае удобнее решать, не переводя единицы измерения в систему СИ. Чтобы определить вещество, из которого изготовлен металл, необходимо определить его плотность. Плотность металла найдем по формуле

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0}. \quad (1)$$

Масса металла нам известна, осталось найти его объем. В задаче сказано, что пробирка была полностью заполнена водой. После того как кусок металла поместили в пробирку, общая масса стала равной 60,5 г. А почему не 62 г? Ведь $50 \text{ г} + 12 \text{ г} = 62 \text{ г}$! Дело в том, что часть воды вылилась из пробирки! Масса вылившейся воды стала равна:

$$\Delta m = m_1 + m_0 - m_2.$$

Кусок металла был полностью погружен в воду, поэтому вылился объем воды, равный объему этого куска. Зная массу вылившейся воды и ее плотность, найдем объем:

$$V_0 = \frac{\Delta m}{\rho} = \frac{m_1 + m_0 - m_2}{\rho}.$$

Подставив значение объема в формулу (1), вычислим плотность металла:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_0} = \frac{\rho m_0}{\Delta m} = \frac{\rho m_0}{m_1 + m_0 - m_2}.$$

Теперь, подставив численные значения величин, получим:

$$\rho_0 = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \frac{12 \text{ г}}{50 \text{ г} + 12 \text{ г} - 60,47 \text{ г}} = 7,843 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Используя таблицу плотностей, находим, что этот металл — железо.

Ответ : железо.

Задача 3. Сплав олова и свинца массой 420 г имеет плотность $9,6 \text{ г/см}^3$. Определите массу олова и свинца в сплаве.

Дано:

$$m = 420 \text{ г}$$

$$\rho_o = 7,3 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_{\text{св.}} = 11,3 \text{ г/см}^3$$

$$\rho = 9,6 \text{ г/см}^3$$

$$m_o = ? \quad m_{\text{св.}} = ?$$

Решение. Прежде чем перейти к решению задачи, желательно перевести единицы измерения величин в систему СИ. В нашем же случае удобнее решать не в системе СИ. В данной задаче рассуждаем так: объем сплава равен сумме объемов олова и свинца

$$V = V_o + V_{\text{св.}}, \quad (1)$$

$$m = m_{\text{св.}} + m_o. \quad (2)$$

Согласно определению, плотность вещества $\rho = \frac{m}{V}$. Отсюда найдем объем тела $V = \frac{m}{\rho}$. Объемы олова и свинца будут соответственно равны: $V_o = \frac{m_o}{\rho_o}$ и $V_{\text{св.}} = \frac{m_{\text{св.}}}{\rho_{\text{св.}}}$. Из формулы (2) имеем: $m_o = m - m_{\text{св.}}$

Подставим эти значения в формулу (1):

$$\frac{m}{\rho} = \frac{m - m_{\text{св.}}}{\rho_o} + \frac{m_{\text{св.}}}{\rho_{\text{св.}}}$$

Получили уравнение с одним неизвестным $m_{\text{св.}}$. Из этого уравнения следует:

$$m_{\text{св.}} = m \frac{\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{\rho_o} - \frac{1}{\rho_{\text{св.}}}} = m \frac{\rho_{\text{св.}}(\rho - \rho_o)}{\rho(\rho_{\text{св.}} - \rho_o)} \approx 284 \text{ г.}$$

$$m_o = m - m_{\text{св.}} = 420 \text{ г} - 284 \text{ г} = 136 \text{ г.}$$

Ответ : $m_{\text{св.}} = 284 \text{ г}$; $m_o = 136 \text{ г}$.



1 Определите объем стального бруска массой 312 г. (40 см^3)

2 Какова масса свинцового цилиндра объемом 25 см^3 ? (452 г)

3 125 л неизвестной жидкости имеет массу 100 кг . Какая это жидкость? (Керосин)

4 Сосуд, заполненный ртутью, имеет массу 34 кг . Каков объем сосуда? ($2,5 \text{ л}$)

5 Лист кровельной стали имеет размеры $1,5 \cdot 0,54 \cdot 0,75 \text{ м}$. Какова его масса? ($4,74 \text{ т}$)

6 При оцинковке ведер их поверхность покрывают слоем цинка толщиной 100 мкм как снаружи, так и внутри. Сколько ведер было оцинковано, если израсходовано 1278 г цинка? Площадь всей поверхности ведра составляет 600 см^2 ? (15)

7 В куске кварца содержится небольшой самородок золота. Масса куска равна 100 г , а средняя плотность 8 г/см^3 . Определите массу золота, содержащегося в куске кварца, если плотность кварца $2,65 \text{ г/см}^3$. ($77,5 \text{ г}$)



Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТЕЙ И ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Цель работы: научиться определять плотность вещества с помощью рычажных весов и измерительного цилиндра (мензурки).

Оборудование: цилиндр мерный (мензурка), химический стакан, нитка, цилиндры из латуни, стали, алюминия, деревянный брусок правильной формы, весы с разновесами.

Задание 1. Определение плотности вещества различных твердых тел

Ход работы:

1. Подготовьте весы для взвешивания, для чего уравновесьте их.
2. С помощью рычажных весов взвесьте различные тела (цилиндры из стали, латуни, алюминия, дерева) на весах и определите их массу.
3. Определите цену деления мензурки.
4. Налейте в мензурку воду и определите ее объем V_1 .
5. Опустите тело в воду, удерживая его за нить и измерьте объем жидкости V_2 .
6. Вычислите объем тела: $V = V_2 - V_1$.
7. Определите плотность исследуемого тела по формуле: $\rho = \frac{m}{V}$.
8. По таблице плотностей твердых веществ определите название вещества, из которого изготовлено тело.
9. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
10. Произведите сравнительный анализ плотностей веществ.

Масса тела, m , г	Объемы V , см ³			Плотность вещества твердого тела ρ , г/см ³	Название вещества
	Объем воды, V_1	Объем воды с телом, V_2	Объем тела, $V_2 - V_1$		

Задание 2. Определение плотности жидкости

Ход работы:

1. С помощью рычажных весов определите массу пустого химического стакана m_1 .
2. В мензурку налейте некоторое количество жидкости (примерно 50—60 г) и определите ее объем.
3. Вылейте эту жидкость в химический стакан, взвесьте жидкость вместе со стаканом m_2 .
4. Рассчитайте массу жидкости в цилиндре: $m = m_2 - m_1$.
5. Произведите расчет по определению плотности жидкости по формуле: $\rho = \frac{m}{V}$.
6. Сделайте вывод о плотности жидкости.

Масса тела, m , г	Масса пустого стакана, m_1	Объем жидкости, V	Масса жидкости вместе со стаканом, m_2	Плотность жидкости, ρ , г/см ³	Название жидкости

§ 14. Инерция



Ключевые слова:

- ✓ явление инерции
- ✓ закон инерции



Галилео Галилей
(1564—1642 гг.)

Итальянский физик, механик, астроном, философ и математик, оказавший значительное влияние на науку своего времени. Первым использовал телескоп для наблюдения небесных тел и сделал ряд выдающихся астрономических открытий. Г. Галилей — основатель экспериментальной физики.

На этом уроке вы:

- узнаете, в чем заключается явление инерции.

Наш повседневный опыт показывает, что ни одно тело само по себе не приходит в движение и скорость тела может изменяться под действием другого тела. Например, стоящий в комнате стол никогда сам собой не начнет двигаться. Движущийся по дороге автомобиль после выключения двигателя обязательно остановится. Лежащий на земле мяч приходит в движение после того, как по нему ударят ногой. Из этих примеров следует, что для того, чтобы изменить движение тела, необходимо действие другого тела.

Великий итальянский ученый Галилео Галилей в конце XVI — начале XVII в., проводя опыты с тележками, скатывающимися с наклонной плоскости на горизонтальные поверхности с меняющимся покрытием (песок, кошма, стекло) (рис. 3.20), установил, что поверхность оказывает влияние на длительность движения. На поверхности с песком тележка останавливается очень быстро, поверх кошмы едет дальше, а на стеклянной поверхности она движется очень долго.

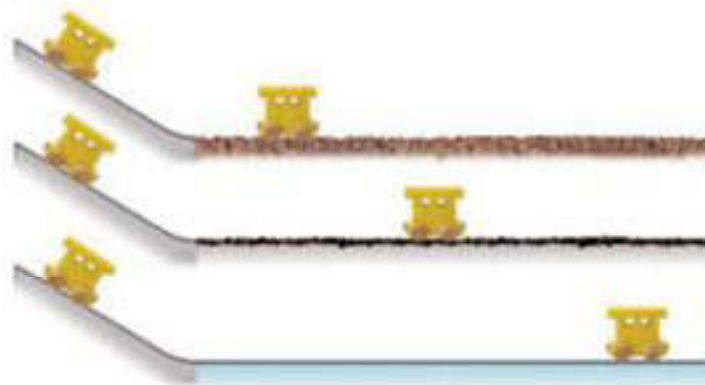


Рис. 3.20

Ученый мысленно провел свой эксперимент и пришел к выводу, что в случае идеально гладкой поверхности движение тележки продолжалось бы бесконечно долго. Проводя многочисленные опыты по изучению движения тел, Галилеем был сформулирован один из основных законов природы, который называется *законом инерции* :

если на тело не действуют другие тела или их действие скомпенсировано, то оно находится в покое либо движется прямолинейно и равномерно .

Итак, явление сохранения телом состояния покоя или равномерного и прямолинейного движения при отсутствии действия на него других тел называется *инерцией* (от лат. *инерция* — “неподвижность”, “бездеятельность”).

До открытия закона инерции Галилеем в течение 2000 лет в науке господствовало ошибочное представление Аристотеля, который считал, что движение возможно только под действием сил.

Исходя из определения инерции, на Земле это явление практически не встречается, так как всегда присутствует внешнее воздействие на тело (земное притяжение, трение, сопротивление воздуха и т. д.). Поэтому выражение “тело движется по инерции” в земных условиях имеет смысл только тогда, когда на тело действуют малые внешние силы, а само движение тела рассматривается в малом временном интервале. Например, можно считать, что автомобиль с выключенным двигателем движется по инерции, но только в малом временном промежутке. В большом временном интервале обнаруживается изменение скорости, так как на тело действует трение колес о дорогу, и автомобиль перестает двигаться равномерно.

Теперь можно объяснить, почему велосипед, который был разогнан велосипедистом, может довольно длительное время сохранять свое движение (рис. 3.21), и почему конькобежец, разогнавшийся до большой скорости, при резком повороте на вираже рискует быть выброшенным с беговой дорожки (рис. 3.22). Во всех этих примерах тело вследствие инерции стремится сохранить направление своего движения.



В литературе часто встречается такое образное выражение: “Он делал все по инерции”. Попробуйте объяснить состояние человека в описанном примере.



Рис. 3.21



Рис. 3.22

Явление инерции используют для сохранения равномерности движения. Во многих устройствах используют тяжелые маховики, которые, вращаясь на оси, позволяют не только экономно и долго двигаться машинам, на которых они установлены, но и обеспечивают равномерное вращение валов.



1. Почему тело не может само по себе остановиться и само по себе разогнаться?
2. Какое явление называется инерцией?
3. К каким выводам пришел Г. Галилей после проведения экспериментов с тележками?
4. Что происходит с телами, если на них не действуют другие тела?
5. Как объяснить падение пассажиров при резком торможении автобуса или при резком увеличении скорости?



Возьмите стакан и картон. Поставьте стакан на картон. В первый раз медленно вытяните картон, во второй раз быстро выдерните картон. Опишите движение стакана в обоих случаях. Сделайте вывод.



- 1 Приведите примеры движения тел по инерции.
- 2 На рис. 3.23 показан способ насаживания молотка на рукоятку. Объясните его.
- 3 В какую сторону падает споткнувшийся человек? Поскользнувшийся человек? Почему?
- 4 Как изменилась скорость движения вагонов, изображенных на рис. 3.24, а и б?
- 5 Рассматривая движение тела по абсолютно гладкой поверхности, Галилей пришел к выводу, что "если после падения тела по любой наклонной плоскости наступает подъем, то... оно поднимается до той высоты над горизонтом... и притом не только в том случае, когда плоскости имеют одинаковый наклон, но и в том, когда они образуют разные углы". К какому выводу можно прийти, если продолжить эти рассуждения, опираясь на рис. 3.25?



Рис. 3.23

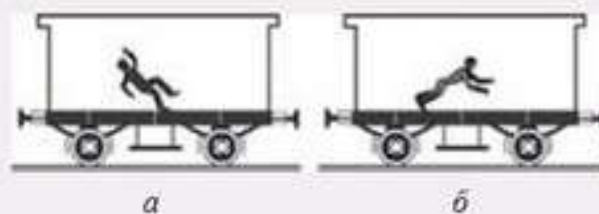


Рис. 3.24



Рис. 3.25

§ 15. Сила

На этом уроке вы:

- узнаете, что сила является мерой взаимодействия тел и характеризуется величиной, направлением и точкой приложения.



Ключевые слова:

- ✓ сила
- ✓ единица силы — ньютон

Рассматривая явление инерции, мы убедились, что тела изменяют свою скорость только под действием на них других тел. Это изменение тем больше, чем сильнее воздействие другого тела. Поэтому в физике возникла необходимость ввести физическую величину, которая характеризовала бы степень воздействия тел друг на друга. **Физическая величина, которая характеризует действие одного тела на другое, в результате которого тело или отдельные части тела изменяют свою скорость, называется силой.**

Проведем такой опыт. Возьмем три одинаковых по массе шарика, шарик 1 — медный, шарик 2 — стальной, а шарик 3 — шарик-магнит. Намагниченный шарик 3 закреплен на гладком горизонтальном столе. Пусть медный и стальной шарики катятся равномерно прямолинейно со скоростью \vec{v} (рис. 3.26). Если бы не было намагниченного шарика, то стальной шарик двигался бы по траектории, отмеченной пунктиром.

Однако стальной шарик, по мере приближения к намагниченному шарiku, будет изменять траекторию и скорость своего движения. Скорость шарика возрастет до какого-нибудь значения v_1 . Это можно объяснить только тем, что на него действует сила со стороны намагниченного шарика. А на медный шарик шарик-магнит не действует,

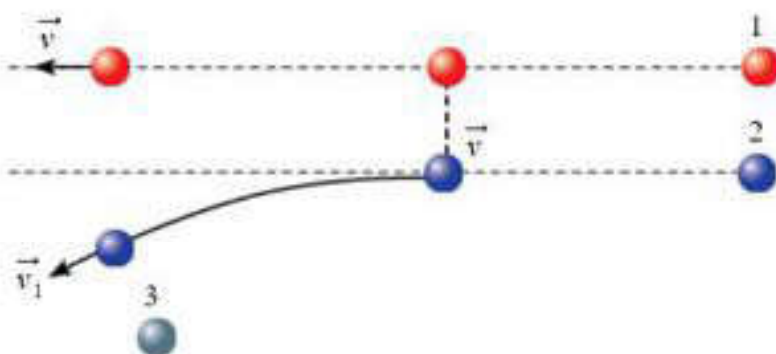


Рис. 3.26



Рис. 3.27

поэтому он не изменит свою траекторию и скорость движения. Заменяв шарик-магнит на более мощный, можно увидеть, что магнит будет сильнее притягивать стальной шарик и скорость его движения возрастет, например, до значения v_2 (за тот же промежуток времени, что и в первом опыте).

Таким образом, взаимодействие с другими телами приводит к тому, что скорость тела меняется.

Итак, **сила** — мера взаимодействия тел. Ее обозначают буквой \vec{F} . Сила — величина векторная, так как кроме численного значения, она характеризуется и направлением своего действия. Сила измеряется с помощью особого физического прибора, который называется *динамометром*. Устройство и принцип действия этого прибора мы рассмотрим в § 19.

В Международной системе единиц СИ за единицу силы принят **ньютон (Н)**. Эта единица названа в честь великого английского физика Исаака Ньютона. Используются и **большее**, чем ньютон, единицы силы — **килоньютон (кН)**, **меганьютон (МН)** и др.

Принято изображать силу стрелкой, начало которой приложено к телу, а конец показывает направление действия силы (рис. 3.27). Длина отрезка условно изображает в некотором масштабе величину силы.

Большое значение имеет и то, на какую точку тела приложена сила. Вам хорошо известно, что открыть дверь, толкая ее близко от петель, гораздо труднее, чем воспользовавшись ручкой. Кроме того, действие силы на тело зависит и от времени ее действия, и от площади, на которую она действует, и от точки ее приложения.

Приведенное выше определение силы не раскрывает полностью это сложное понятие. В старших классах мы еще вернемся к изучению этого понятия.



1. Почему возникла необходимость введения понятия “силы”?
2. Как сила влияет на характер движения тела?
3. Каким прибором измеряют силу?
4. Назовите единицы измерения силы.
5. Как на рисунке верно показать действие силы на тело?
6. Приведите примеры, доказывающие, что сила — векторная величина.
7. Что происходит с футбольным мячом в момент удара по нему и сразу же после него?

§ 16. Явление тяготения. Сила тяжести

На этом уроке вы:

- узнаете, какую силу называют *силой тяжести*;
- ознакомитесь с законом всемирного тяготения.



Ключевые слова:

- ✓ гравитационное взаимодействие
- ✓ закон всемирного тяготения
- ✓ сила тяжести

Одним из замечательных свойств тел является их взаимное притяжение даже на далеком расстоянии. Взаимное притяжение существует не только между Землей и находящимися на ней телами. Притягиваются друг к другу все тела — и на Земле, и на космическом пространстве. Планеты Солнечной системы притягиваются к Солнцу, в то же время они сами притягивают к себе Солнце и друг друга. Такое взаимодействие получило название *гравитационного* (от лат. слова *gravitas* — “тяжесть”).

Великий английский физик Исаак Ньютон, изучая гравитационное взаимодействие, в 1666 г. открыл закон всемирного тяготения, который гласит:

Сила всемирного тяготения прямо пропорциональна произведению масс взаимодействующих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

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

где m_1 и m_2 — массы взаимодействующих тел, R — расстояние между ними, $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$ — гравитационная постоянная. Значение гравитационной постоянной впервые было измерено в лабораторных условиях английским физиком Генри Кавендишем в 1798 г.

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



Исаак Ньютон
(1643—1727)

Великий английский физик, математик, механик, астроном, создатель классической физики. В своей фундаментальной работе “Математические начала натуральной философии” он изложил закон всемирного тяготения и три закона механики, создал теорию движения небесных тел, заложив основы небесной механики.

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 $6 \cdot 10^{24}$ кг, масса Луны $7 \cdot 10^{22}$ кг, а расстояние от Земли до Луны около 384 000 км. Несмотря на это, сила тяготения между Землей и Луной составляет $2 \cdot 10^{20}$ Н.

Знаете ли вы?

Взаимное притяжение Земли и Луны вызывает приливы и отливы воды. Огромные массы воды поднимаются в океанах и морях дважды в сутки на несколько метров. Величина прилива в открытом океане около 1 м, а у берегов залива Фанди в Атлантическом океане достигает 18 м.



Сила тяжести. Силу, с которой Земля притягивает к себе тела, называют *силой тяжести* ($\vec{F}_{\text{тяж}}$). Она всегда направлена вертикально вниз, к центру Земли. Многочисленными опытами установлено, что сила тяжести прямо пропорциональна массе тела. Например, если к крючку динамометра по очереди подвешивать тела массами m , $2m$, $3m$ и каждый раз отмечать его показания, то можно убедиться, что сила тяжести действительно пропорциональна массе тела, т. е. $F_{\text{тяж}} \sim m$.

Если записать закон всемирного тяготения для Земли: $F = G \frac{Mm}{R^2}$, где M и R — масса и радиус Земли, тогда величина $g = G \frac{M}{R^2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2} \cdot 6 \cdot 10^{24} \text{ кг}}{(6,4 \cdot 10^6)^2 \text{ м}^2} = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ на Земле остается постоянной.

Эту величину назвали *ускорением свободного падения*. С учетом этого силу тяжести рассчитывают по формуле: $F_{\text{тяж}} = mg$.

Значение коэффициента g на Земле примерно равно $9,8 \text{ Н/кг}$. Такой коэффициент действительно существует, и его называют *ускорением свободного падения*. Ускорение свободного падения является векторной величиной, и оно, как сила тяжести, направлено к центру Земли.

Точные измерения показали, что ускорение свободного падения уменьшается с высотой и зависит от географической широты местности. Для практических расчетов, не обращая внимание на незначительные изменения этой величины, можно воспользоваться его средним значением, равным $9,8 \text{ Н/кг}$.

Некоторые значения ускорения свободного падения на Земле:

1. На Северном полюсе $g = 9,832 \text{ Н/кг}$.
2. На экваторе $g = 9,780 \text{ Н/кг}$.
3. На широте 45° $g = 9,806 \text{ Н/кг}$.
4. На уровне моря $g = 9,8066 \text{ Н/кг}$.
5. На пике Хан-Тенгри $g = 9,78 \text{ Н/кг}$.



Было установлено, что сила тяжести, а следовательно, и ускорение свободного падения различны на разных небесных телах. Так, например, если Земля притягивает к себе тело массой 1 кг с силой 9,8 Н, то Луна — с силой 1,62 Н. На Луне $g_{\text{л}} = 1,6 \text{ Н/кг}$, т.е. притяжение на Луне в 6 раз слабее, чем на Земле.

Значения ускорения свободного падения на планетах Солнечной системы:

- | | |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1. Меркурий $g = 3,7 \text{ Н/кг}$. | 5. Сатурн $g = 11,3 \text{ Н/кг}$. |
| 2. Венера $g = 8,9 \text{ Н/кг}$. | 6. Уран $g = 9 \text{ Н/кг}$. |
| 3. Марс $g = 3,7 \text{ Н/кг}$. | 7. Нептун $g = 11,6 \text{ Н/кг}$. |
| 4. Юпитер $g = 25,8 \text{ Н/кг}$. | |



1. Какая сила называется "гравитационной"? Какова причина появления этой силы?
2. Замечаете ли вы притяжение, существующее между окружающими вас телами? Почему?
3. О чем гласит закон всемирного тяготения?
4. Какую силу называют "силой тяжести"?
5. Что является причиной возникновения силы тяжести?
6. Существует ли сила тяжести на других планетах? Ответ обоснуйте.



Возьмите шарик и подвесьте его на нити. Поднимите шарик за нить и подождите, пока его колебания не прекратятся. Затем его отпустите. Наблюдайте за падением шарика. Ответьте на вопросы:

- Почему шарик натягивает нить?
- По какому направлению падает шарик?



1 Масса самоходного аппарата-лунохода составляет 840 кг. Какая сила тяжести действует на луноход на Земле и какая на Луне? (8232 Н; 1344 Н)

2 Автоматическая станция вращается вокруг Земли. Одинаковы ли силы тяжести, действующие на станцию, когда она находилась на стартовой площадке и на орбите? (Разные)

3 Космонавты, попав на некоторую планету, измерили массу и силу тяжести, действующую на тело. Результаты изме-

рений: 1,5 кг и 16,95 Н. На какой планете побывали космонавты? (Сатурн)

4 Какой объем воды находится в сосуде, если сила тяжести, действующая на сосуд с водой, равна 24,5 Н? Масса пустого сосуда 500 г. (2 л)

5 В чайник массой 800 г налили 3 л воды. Вода в чайнике закипела и часть ее выкипела. Определите массу испарившейся воды, если сила тяжести, действующая на чайник с оставшейся водой, равна 34,3 Н. (300 г)

§ 17. Вес тела



Ключевые слова:

- ✓ вес тела
- ✓ сила реакции опоры
- ✓ невесомость

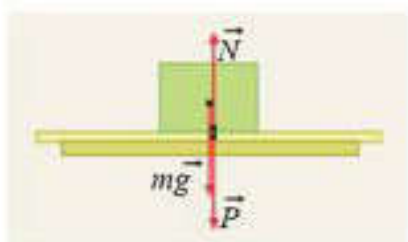


Рис. 3.28

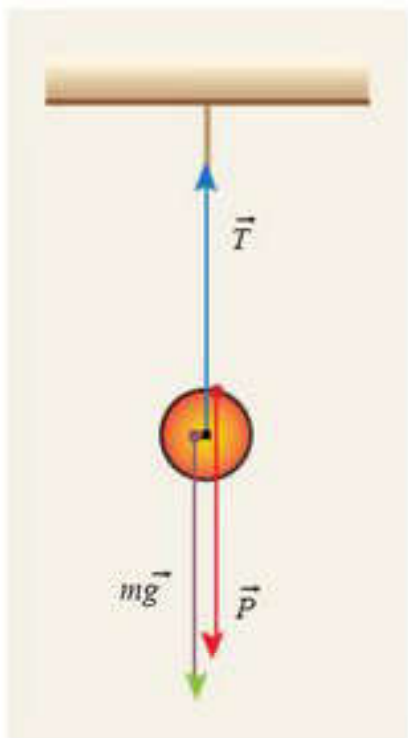


Рис. 3.29

На этом уроке вы:

- узнаете различие между понятиями "сила тяжести" и "вес тела";
- выясните, какое состояние называют невесомостью.

В повседневной жизни часто используют понятие "вес тела". Что означает в физике это понятие?

Рассмотрим пример. Тело, находящееся на горизонтальной опоре, взаимодействует с опорой. Из-за этого взаимодействия возникает пара сил, равных по модулю и противоположно направленных. Эти силы действуют вдоль одной прямой и приложены одна к телу, другая к опоре (рис. 3.28). Причиной возникновения этих сил является сила тяжести, действующая на тело. Сила тяжести, действующая на тело, подвешенное на нити, также порождает пару сил. Одна из этой пары действует на нить со стороны тела, а другая на тело со стороны нити (рис. 3.29).

Сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или растягивает подвес, называется *весом тела*.

Вес тела принято обозначать буквой P . Измеряется вес, как и любая другая сила, в ньютонах (H).

Сила упругости, с которой опора действует на тело, называется *силой реакции опоры*.

Силу реакции опоры принято обозначать буквой \vec{N} . Измеряется сила реакции опоры в ньютонах (H). Численно сила реакции опоры равна весу тела.

Сила упругости, действующая со стороны нити на тело, подвешенное на ней, называет-

ся силой натяжения нити. Силу натяжения нити обозначают буквой \vec{T} . Она тоже измеряется в ньютонах (H).

Что происходит с телами при этих взаимодействиях?

Тело, находящееся на опоре, деформирует ее из-за того, что тело притягивается к Земле. При деформации в опоре возникает сила упругости, не позволяющая телу двигаться вниз. Со стороны опоры на наше тело будет действовать сила, направленная вертикально вверх, — это и есть сила реакции опоры. Так как эти силы возникают при деформациях, то это означает, что их природа электромагнитная.

В случае когда тело покоится на горизонтальной опоре, сила реакции опоры численно равна силе тяжести, действующей на тело (рис. 3.28), т. е. $mg = N$.

В то же время сила реакции опоры численно равна весу тела, как результат взаимодействия тела с опорой, поэтому в этом случае $P = N = mg$.



Обратите внимание!

Нельзя путать *вес тела* и *силу тяжести*. Сила тяжести возникает из-за взаимодействия тела с Землей и приложена к самому телу, т. е. сила тяжести $\vec{F}_{тяж}$ всегда действует на тело. Вес тела приложен к опоре или подвесу, т. е. вес тела \vec{P} действует на опору или подвес.

Вес тела не имеет постоянного значения. Он может изменяться в зависимости от условий, в которых находится тело.

Если тело вместе с опорой движется в направлении действия силы тяжести неравномерно, то соотношение между силой тяжести и весом изменится. В этом случае вес тела может быть больше или меньше силы тяжести. Так, например, при старте ракеты, выводящей космический корабль на орбиту, вес космонавтов увеличивается, и они испытывают *перегрузку*. Состояние перегрузки, хотя и кратковременно, каждый из вас испытывает, например, поднимаясь в лифте, движущемся с ускорением, или в автомобиле, проезжающем середину вогнутого моста. Уменьшение веса космонавты испытывают при торможении приземляющегося космического корабля. Каждый из вас может испытать уменьшение веса в лифте, начинающем спуск; в автомобиле, проезжающем середину выпуклого моста, и т. п.

Особое значение имеет свободное падение тела. Состояние тела, при котором его вес становится равным нулю, называют *невесомостью*. В состоянии невесомости тело не давит на опору и на него

не действует сила реакции опоры. На тело действует только сила тяжести.

Знаете ли вы?

Космонавты тренируются на особых тренажерах, которые называются *центрифугами*. С их помощью можно создать перегрузки, которые возникают при старте космического корабля и даже больше. Тренированный человек выдерживает перегрузки, при которых его вес увеличивается в 5—6 раз.

В состоянии невесомости пребывают космонавты во время полета вокруг Земли. Состояние невесомости, хотя и непродолжительно, может испытать пловец во время прыжка с вышки в воду, парашютист в первые моменты своего падения, прыгун с трамплина.



1. Что вы понимаете под весом тела?
2. В чем различие между понятиями "сила тяжести" и "вес тела"?
3. Может ли сила тяжести быть равной весу тела?
4. Какая сила называется "силой реакции опоры"?
5. Объясните, каким образом возникают сила реакции опоры, сила натяжения нити и вес тела?
6. Какое состояние называется "невесомостью"? Приведите примеры.



Возьмите лист картона и небольшой мешочек с сыпучим содержимым (песок, соль, крупа и др.).

Положите лист картона на две книги, как показано на рис. 3.30, а.

На середину листа картона положите мешочек с содержимым. Обратите внимание на изменение формы картона и мешочка (рис. 3.30, б).

Ответьте на вопросы:

- Что произошло в результате взаимодействия мешочка с картоном?
- Какие силы возникли в картоне и мешочке с песком в результате их взаимодействия?
- К какому телу приложена сила упругости картона и сила упругости мешочка с песком?



а



б

Рис. 3.30

Пример решения задачи

Задача. Определите силу, с которой стальное ведро массой 500 г, объемом 12 л, полностью заполненное водой, давит на опору.

Дано:	СИ
$m_1 = 500 \text{ г}$	0,5 кг
$V_2 = 12 \text{ л}$	$12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
$\rho_1 = 7800 \text{ кг/м}^3$	
$\rho_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$	
$g = 10 \text{ Н/кг}$	
$P = ?$	

Решение. Сила, с которой полное ведро действует на опору, т.е. его вес, равна силе тяжести, действующей на ведро с водой. Считаем, что ведро находится на горизонтальной поверхности, так как оно полностью заполнено водой. Сила тяжести равна сумме силы тяжести, действующей на ведро, равной $F_{\text{т.к.1}} = m_1 g$, и силы тяжести,

действующей на воду, налитой в ведро, равной $F_{\text{т.к.2}} = m_2 g = \rho_2 V_2 g$, т.е. $F_{\text{т.к.}} = m_1 g + \rho_2 V_2 g$.

$$F_{\text{т.к.}} = 0,5 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ Н/кг} + 10^3 \text{ кг/м}^3 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 9,8 \text{ Н/кг} = 122,5 \text{ Н}.$$

Тогда вес тела равен $P = F_{\text{т.к.}}$, или $P = 122,5 \text{ Н}$.

Ответ : $P = 122,5 \text{ Н}$.



Через ручей перекинута прочная легкая доска (рис. 3.31). Какие изменения произойдут с доской, если на нее встанет мальчик? Какие возникнут силы?

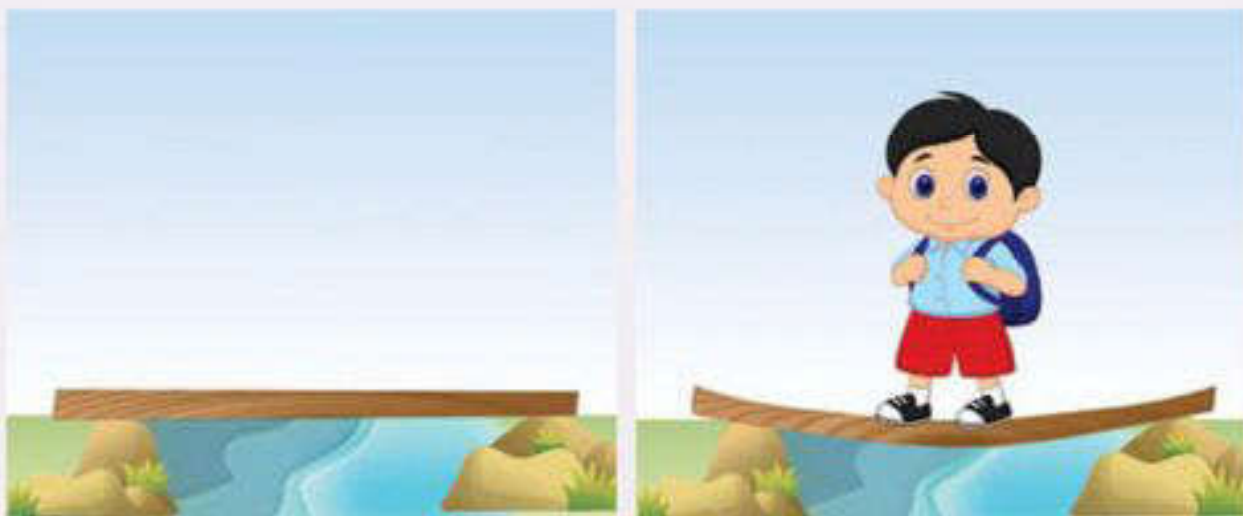


Рис. 3.31

§ 18. Деформация



Ключевые слова:

- ✓ деформация
- ✓ упругая деформация
- ✓ пластическая деформация



Рис. 3.32



Рис. 3.33

На этом уроке вы:

- научитесь различать упругие и пластические деформации и приводить примеры пластических и упругих деформаций.

Если взаимодействие тел не приводит к изменению их скоростей, то тела будут деформироваться. Деформация — другое следствие взаимодействия тел. При контакте двух взаимодействующих тел приходят в движение отдельные части этих тел, вследствие чего изменяются форма и размеры тела.

Любое изменение размеров и формы тела, происходящее под действием сил, называется *деформацией* (от лат. *деформация* — “изменение”).

Так как деформация возникает во время взаимодействия тел, то деформируются оба взаимодействующих тела. Например, если прижать друг к другу два резиновых мяча, то деформироваться будут оба мяча, а не один мяч (рис. 3.32). При растягивании эспандера деформируется не только эспандер, но и мышцы человека, растягивающего его (рис. 3.33).

Деформации, которые испытывают тела, бывают двух видов: *упругая* и *пластическая* (рис. 3.34).



Рис. 3.34

Деформация называется *упругой*, если после прекращения действия силы тело восстанавливает свои прежние размеры и форму.

Деформация называется *пластической*, если после прекращения действия силы тело не восстанавливает свои прежние размеры и форму.

Материалы, из которых изготавливают мосты, балки, стены зданий, детали машин, должны обладать упругими свойствами, а подвергающиеся процессамковки, штамповки, лепки — пластическими свойствами.

Многие материалы изменяют свои упругие свойства при изменении внешних условий. Так, например, свинец при комнатной температуре неупругий, а при $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$ он становится упругим. Упругое при комнатной температуре железо становится мягким и пластичным, если его нагреть до $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это свойство железа и многих других металлов используют при обработке и производстве металлических изделий.

Знаете ли вы?

Пластиковым молотком, остуженным до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, можно забивать мелкие гвозди, чего никак не сделаешь при комнатной температуре.

Характер деформации зависит от природы вещества, из которого изготовлено тело, от его температуры и других факторов.

В школьном курсе физики вы в основном будете изучать упругие деформации.

Виды упругих деформаций





- ✓ Объясните, какие деформации испытывают резиновый инур, воздушный шарик, стальная пружина, свинцовая пластина, кусок глины, пластилин под воздействием внешней силы.
- ✓ Приведите примеры, которые доказывают, что характер деформации зависит от величины приложенной силы, от времени ее действия и от природы вещества, из которого изготовлено тело.
- ✓ Подумайте, где бы вы в обыденной жизни могли наблюдать деформации сжатия и растяжения, изгиба, сдвига и кручения.



1. Что называется "деформацией тела"?
2. Как возникает деформация тела?
3. Какие виды деформаций вы знаете?
4. Какая деформация называется "упругой"?
5. Какая деформация называется "пластичной"?
6. Приведите примеры упругих тел и их использование в технике, строительстве.
7. Приведите примеры пластичных тел и их использование в технике, строительстве.
8. Каким образом можно изменить упругие свойства тел? Приведите примеры.



Какие виды деформаций изображены на рис. 3.35?



Рис. 3.35

§ 19. Сила упругости. Закон Гука

На этом уроке вы:

- узнаете, какую силу называют *силой упругости*;
- научитесь применять закон Гука для расчета силы упругости.



Ключевые слова:

- ✓ сила упругости
- ✓ динамометр
- ✓ закон Гука
- ✓ жесткость

Как вам уже известно, если после прекращения действия силы тело восстанавливает исходные форму и размеры, то происходит упругая деформация. В результате деформации тела возникает сила, стремящаяся вернуть его в исходное положение, которая называется **силой упругости** $\vec{F}_{\text{упр}}$. Она возникает во всех случаях, когда тело деформируется. Итак, особенностью силы упругости является то, что она всегда направлена в сторону, противоположную деформации.

Прделаем следующий опыт. Подействуем на пружинный стержень, длина которого в недеформированном состоянии l_0 , некоторой силой \vec{F} . Стержень растянется на величину ($\Delta l = l - l_0$ — удлинение тела или изменение его длины). На стержень в этот момент будет действовать сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ (рис. 3.36). Увеличим деформацию в 2 раза, стержень растянется на величину $2\Delta l$, и сила упругости также увеличится в 2 раза. Продолжая опыт, можно заметить, что сила упругости будет прямо пропорциональна деформации (удлинению) тела, т.е. $\vec{F}_{\text{упр}} \sim \Delta l$.

Английский ученый Роберт Гук экспериментально исследовал свойства упругих тел и вышеприведенную зависимость. Он первым



Роберт Гук
(1635—1703)

Английский физик, ученый-энциклопедист, является одним из основателей экспериментальной физики.

Сделал много открытий и в других науках.

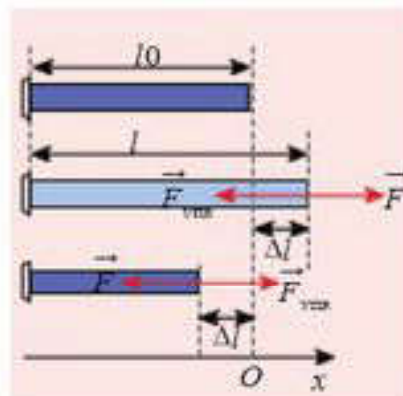


Рис. 3.36

установил, что сила упругости, возникающая при деформации тела, прямо пропорциональна удлинению тела:

$$\vec{F}_{\text{упр.}} = -k\Delta\vec{l}. \quad (19.1)$$

Это уравнение выражает закон Гука. Знак “—” показывает, что вектор силы упругости направлен в сторону противоположную деформации.

Удлинение тела Δl часто обозначают буквой x , поэтому модуль силы упругости находят так:

$$F_{\text{упр.}} = kx. \quad (19.2)$$

Коэффициент k в формулах (19.1) и (19.2) называется жесткостью. Он характеризует упругие свойства тела и зависит от формы и размеров материала тела, из которого оно изготовлено. Единицей измерения жесткости является $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$. Разные материалы обладают различной упругостью, поэтому закон Гука применим не ко всем материалам.

Этот закон выполняется для тел с упругими свойствами и при малых деформациях.

Исходя из результатов эксперимента, Гуком была построена зависимость силы упругости от величины удлинения (рис. 3.37).

Из графика видно, что зависимость эта линейная. Используя линейную зависимость силы упругости от деформации, можно изготовить прибор для измерения силы.

Прибор, предназначенный для измерения силы, называется динамометром (в пер. с греч. означает *силомер*). Основной его частью является пружина, растяжение которой в результате деформации характеризует значение действующей силы.

Рассмотрим принцип действия школьного динамометра (рис. 3.38). Школьный динамометр состоит из пластмассового корпуса, к которому прикреплена стальная пружина с указателем и крючком. Пружина является основной его частью, растяжение которой в результате деформации характеризует значение действующей силы.

На корпусе нанесена шкала с делениями от 0 до 4 Н. В нижней части имеется специальная стрелка, которая показывает удлинение пружины под действием приложенной силы. Нулевая отметка соответствует положению стрелки нерастянутой пружины. Подвешивая к динамометру грузы массой 100 г, 200 г,

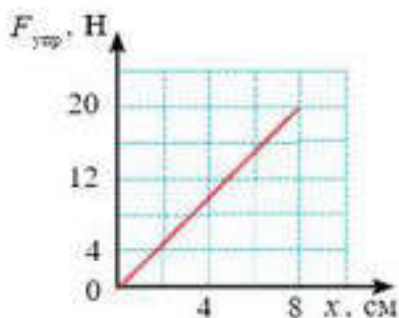


Рис. 3.37

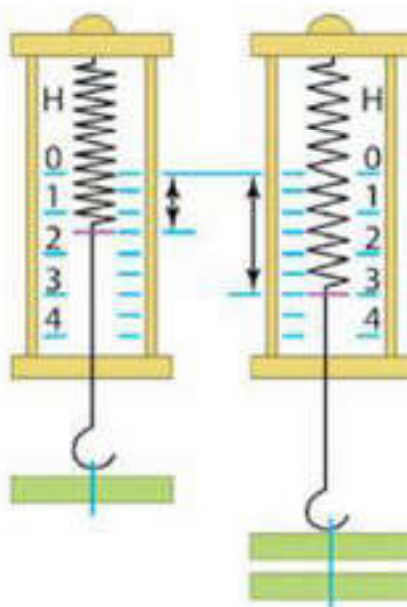


Рис. 3.38

300 г, будем измерять удлинение пружины. Согласно закону Гука, сила упругости пружины увеличивается во столько же раз, во сколько увеличивается ее удлинение.

В зависимости от упругих свойств пружины, использованной в динамометре, под действием одной и той же силы пружина может удлиниться больше или меньше. Это позволяет изготавливать динамометры с различными пределами измерения. Существуют динамометры с пределом измерения в несколько килоньютонов и больше. Такие динамометры предназначены для измерения силы тяги (рис. 3.39). В них используется пружина с очень большой жесткостью. На рис. 3.40 показаны динамометры (силометры) для измерения мускульной силы рук, отличающиеся по своему внешнему виду и конструкции. Однако принцип их действия основан на использовании зависимости деформации пружины от приложенной к ней силы.

На практике применяют также ртутные, гидравлические, электрические и другие динамометры.



Рис. 3.39



Рис. 3.40



1. Какие силы называются "упругими"?
2. Как возникают силы упругости?
3. Сформулируйте закон Гука.
4. Каков физический смысл жесткости?
5. Каково назначение динамометра?
6. Каков принцип действия динамометра?
7. Как устроен школьный динамометр?



В кабинете физики имеются наборы грузов массой по 100 г, пружины которых закреплены на деревянных дощечках. Проградуируйте этот прибор. Для этой цели на корпус наклеивается лист белой бумаги, на котором отмечают положение указателя при нерастянутой пружине, — это 0 Н. Затем пружину растягивают, действуя на нее силой 1 Н, и отмечают новое положение указателя, возле которого ставят цифру 1. Приложив к пружине силу 2 Н, растягивают ее еще больше и возле нового положения указателя ставят цифру 2 и т. д. Разделив расстояние между отметками 0 и 1, 1 и 2, 2 и 3, 3 и 4 на десять равных частей, получают деления, соответствующие 0,1 Н. Изготовьте таким образом самодельный динамометр и сравните его со школьным.

Пример решения задачи



Рис. 3.41

Задача. Груз массой 1,4 кг растягивает пружину на 4 см. Каким станет удлинение пружины, если к ней подвесить еще один груз массой 2,45 кг?

Дано:
 $m_1 = 1,4$ кг
 $m_2 = 2,45$ кг
 $x_1 = 4$ см
 $x_2 = ?$

Решение. Изобразим ситуацию на рис. 3.41. Первый груз, растягивая пружину, вызовет появление в ней силы упругости, которая скомпенсирует действие силы тяжести груза, т.е. $kx_1 = m_1g$.

Условие равновесия, после того как будет подвешен второй груз, выглядит так: $kx_2 = (m_1 + m_2)g$.

Разделим второе уравнение на первое: $\frac{x_2}{x_1} = \frac{m_1 + m_2}{m_1}$.

Отсюда находим x_2 : $x_2 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} x_1$.

Подставив численные значения масс и удлинения, получим, что $x_2 = 11$ см.

Ответ : $x_2 = 11$ см.



- 1 Используя график (см. рис. 3.42), определите жесткость пружины. (500 Н/м)
- 2 Под действием какой силы пружина, имеющая жесткость 1 кН/м, сжалась на 4 см? (40 Н/м)
- 3 Найдите жесткость пружины, которая под действием силы 3 Н удлинилась на 6 см? (50 Н/м)
- 4 При помощи пружинного динамометра равномерно поднимают груз массой $m = 2$ кг. Определите модуль удлинения пружины динамометра, если ее жесткость $k = 1000$ Н/м. (2 см)
- 5 Какова жесткость пружины, если груз массой 10 кг растягивает пружину на 10 см? (1 кН/м)
- 6 Какой груз нужно подвесить к пружине жесткостью 1,2 кН/м, чтобы растянуть ее на 20 см? (24 кг)
- 7 Груз массой 3 кг растягивает пружину на 4 см. Каким должен быть груз, который растянет пружину еще на 8 см? (9 кг)
- 8 Пружина жесткостью 300 Н/м растянулась на 50 мм. Какова масса гру-

за, способного производить данную деформацию? (1,5 кг)

9 Если к пружине подвесить груз массой 3 кг, то пружина удлиняется на 1,5 см. Каким станет удлинение пружины, если к ней довесить груз массой 4 кг? (3,5 см)

10 Если к пружине подвесить груз массой 20 кг, то длина пружины будет 12 см, а если подвесить груз массой 50 кг, то длина составит 15 см. Какова первоначальная длина пружины? (10 см)

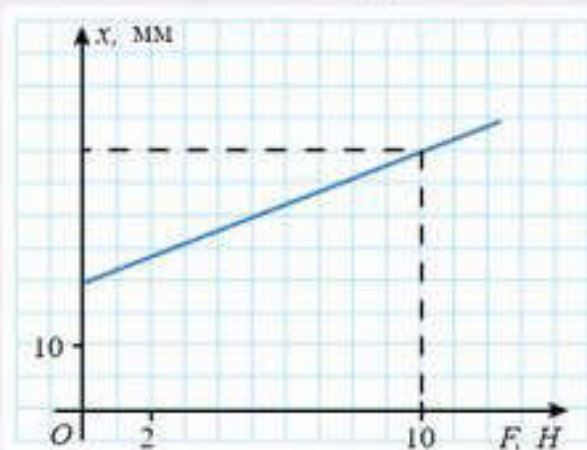


Рис. 3.42



Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГИХ ДЕФОРМАЦИЙ

Цели работы: установить зависимость силы упругости от модуля удлинения, определить жесткость пружины.

Оборудование: набор грузов по 100 г, с погрешностью $\Delta m_0 = 0,002$ кг; линейка с миллиметровыми делениями, штатив с муфтами и лапкой; пружина.

Ход работы:

1. Закрепите на штативе конец пружины (другой конец пружины снабжен стрелкой — указателем и крючком (рис. 3.43).
2. Рядом с пружиной или за ней установите и закрепите линейку с миллиметровыми делениями.
3. Отметьте и запишите то деление линейки, против которого приходится стрелка — указатель пружины.
4. Подвесьте к пружине груз известной массы и измерьте вызванное им удлинение пружины.
5. К первому грузу добавьте второй, третий и т. д. грузы, записывая каждый раз удлинение x пружины. По результатам измерений заполните таблицу:

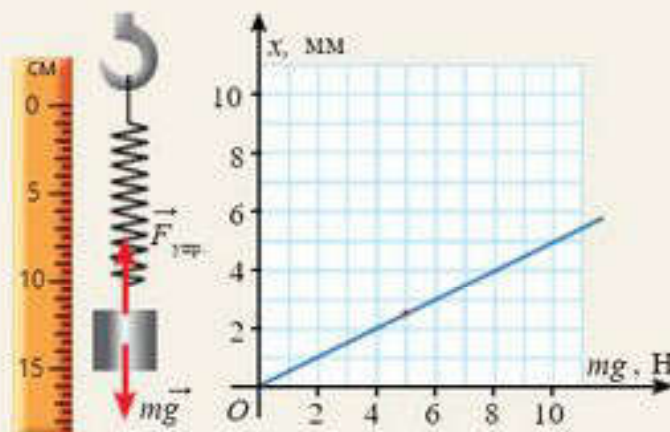


Рис. 3.43

Номер опыта	m , кг	mg , Н	x , м

6. По результатам измерений постройте график зависимости силы упругости от удлинения и, пользуясь им, определите среднее значение жесткости пружины $k_{\text{ср}}$.
7. При построении графика по результатам опыта экспериментальные точки могут не оказаться на прямой, которая соответствует формуле $F_{\text{уп}} = kx$. Это связано с погрешностями измерения. В этом случае график надо проводить так, чтобы примерно одинаковое число точек оказалось по разные стороны от прямой. После построения графика возьмите точку на прямой (в средней части графика), определите по нему соответствующие этой точке значения силы упругости и удлинения и вычислите жесткость k . Она и будет искомым средним значением жесткости пружины $k_{\text{ср}}$.
8. Для определения абсолютной погрешности измерения пользуются методом границ. $\Delta k_{\text{ср}} = \frac{\Delta k_{\text{max}} - \Delta k_{\text{min}}}{2}$, где $\Delta k_{\text{max}} = \frac{(m + \Delta m)g}{(x - \Delta x)}$, $\Delta k_{\text{min}} = \frac{(m - \Delta m)g}{x + \Delta x}$.
9. Результат измерения обычно записывается в виде выражения $k = k_{\text{ср}} \pm \Delta k_{\text{ср}}$, где $\Delta k_{\text{ср}}$ — средняя абсолютная погрешность измерения.
10. Сделайте выводы по результатам работы.

§ 20. Силы трения



Ключевые слова:

- ✓ сила трения скольжения
- ✓ сила трения качения
- ✓ сила трения покоя
- ✓ сила нормального давления
- ✓ закон Кулона — Амонтона



На этом уроке вы:

- узнаете о трении покоя, скольжении, качении;
- научитесь приводить примеры полезного и вредного проявления силы трения.

Мы с вами практически не задумываемся над тем, почему мы можем ходить, почему авторучка пишет, почему не выскальзывают предметы из рук, почему трудно удержать рыбу в руке, почему вода точит камень, почему птичка может присесть на ветку.

Не всегда мы можем объяснить, почему нагреваются и изнашиваются движущиеся части различных механизмов и почему вы можете водить компьютерной мышкой по коврику, почему огромные валуны лежат на краях скал и не падают вниз.

Оказывается, что во всех этих случаях мы имеем дело с силой трения. **Сила трения** — это сила, препятствующая движению или возможному движению.

Для того чтобы разобраться, что из себя представляет сила трения, проделаем несколько опытов.

Опыт 1. Поместим на горизонтальную поверхность деревянный брусок. Прикрепим к бруску динамометр и начнем тянуть его с некоторым усилием. Указатель динамометра покажет, что на брусок будет действовать сила \vec{F} , которая возрастает с ростом наших усилий. Несмотря на возрастание силы \vec{F} , брусок некоторое время остается в покое. Следовательно, можно предположить, что между бруском и столом возникает какая-то сила, противоположно направленная силе, действующей со стороны динамометра. Эта сила называется **силой трения покоя** (рис. 3.44).

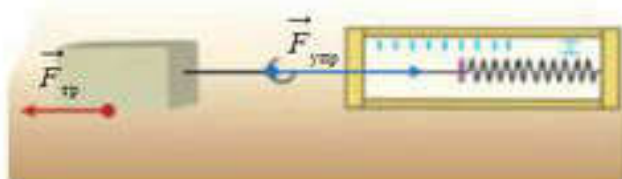


Рис. 3.44

Опыт 2. Теперь будем дальше увеличивать силу \vec{F} , действующую на тот же брусок со стороны динамометра. В некоторый момент времени брусок все-таки сдвинется с места и будет про-

должны двигаться под действием некоторой постоянной силы \vec{F} равномерно.

Равномерность движения бруска означает, что на брусок действует сила, препятствующая его движению. Она равна по модулю силе \vec{F} и направлена противоположно ей (рис. 3.44), так как равномерное движение возможно лишь в том случае, если равнодействующая сила равна нулю.

Эта сила называется **силой трения скольжения** и обозначают ее буквой $\vec{F}_{\text{тр}}$.

Сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого и направленная против движения тела, называется **силой трения скольжения**.

Опыт 3. Поместим на горизонтальный стол два деревянных цилиндра и приведем их в движение в одном направлении с одинаковой скоростью, но один заставим скользить, а другой будем катить (рис. 3.45).

Эксперимент покажет, что на цилиндр, который скользит, необходимо действовать большей силой, чем на второй. Это означает, что сила трения качения, действующая на второй цилиндр, гораздо меньше, чем сила трения скольжения, действующая на первый цилиндр, которую называют **силой трения качения**.

Проведя эти опыты, мы выяснили, что существуют три вида трения: *трение покоя*, *трение скольжения*, *трение качения*.

Опыт 4. Продолжим наши опыты и попытаемся выяснить, от чего зависит сила трения. Так, если помещать деревянный брусок на стол разными его гранями (рис. 3.46), имеющими разные площади, и каждый раз двигать его равномерно и прямолинейно с помощью динамометра (рис. 3.47), то можно обнаружить, что сила трения останется неизменной, т.е. она не зависит от площади соприкасающихся поверхностей.

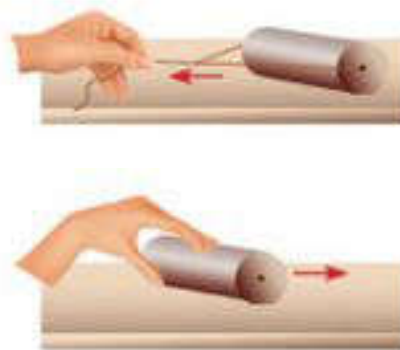


Рис. 3.45

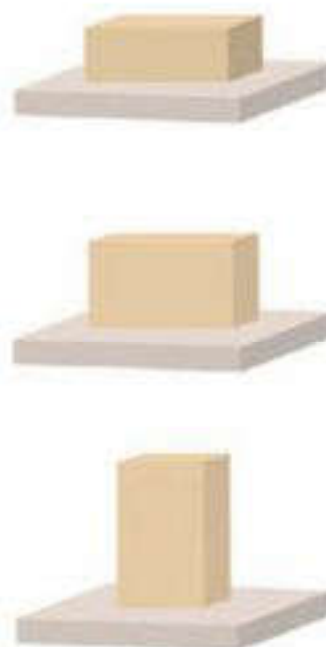


Рис. 3.46

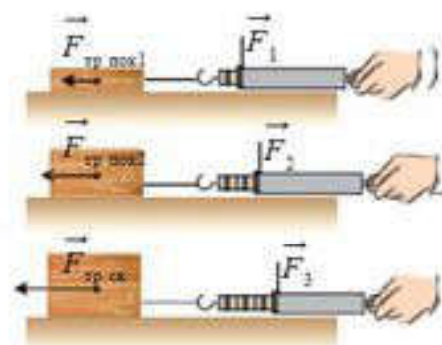


Рис. 3.47

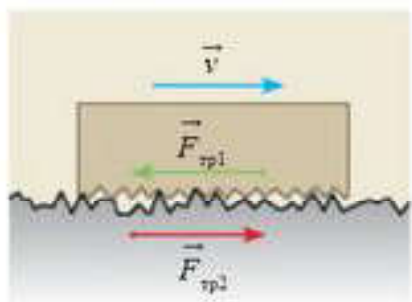


Рис. 3.48

Понятно и то, что если отшлифовать соприкасающиеся поверхности, то сила трения уменьшится. Происходит это из-за того, что уменьшается шероховатость соприкасающихся поверхностей (рис. 3.48).

Сила трения скольжения зависит не только от качества соприкасающихся тел, но и от материала, из которого они изготовлены. Как показывают опыты, возникающая сила

трения при движении одного и того же бруска по деревянной поверхности будет больше, чем по стеклянной.

Опыт 5. Если тело прижимать к поверхности все с большей силой, то сцепление между шероховатостями соприкасающихся поверхностей увеличится, что приведет к увеличению силы трения. Это легко доказать опытным путем: при увеличении массы бруска показания динамометра увеличатся, а значит сила трения, действующая на брусок, возрастет. Чем больше сила, прижимающая брусок к поверхности стола, тем больше возникающая при этом сила трения скольжения (рис. 3.47).

Сила, действующая перпендикулярно поверхности соприкосновения тел, называется силой нормального давления. Ее обозначают буквой \vec{N} . В тех случаях, когда тело движется по горизонтальной поверхности, как брусок в нашем опыте, значение силы нормального давления N равно весу тела P .

Изучением сил сухого трения занимались французские физики Гийом Амонтон (1663—1705) и Шарль Огюстен Кулон (1736—1806). Экспериментально они установили следующие законы сухого трения:

1. Максимальная сила трения покоя равна силе трения скольжения.
2. Сила трения не зависит от площади соприкасающихся поверхностей.
3. Сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления:

$$F_{\text{тр}} = \alpha N, \quad (1)$$

где α — коэффициент пропорциональности, который называют **коэффициентом трения скольжения**. Коэффициент трения скольжения определяется родом материала соприкасающихся поверхностей, качеством их обработки и т. д. Формула (1) называется **законом Кулона — Амонтона**.

Трение, как и любое физическое явление, может быть и вредным, и полезным. В том случае, когда трение вредно, его стараются

уменьшить, например, из-за трения нагреваются и изнашиваются движущиеся части механизмов. Для этого вводят смазку между трущимися поверхностями, применяют магнитную или воздушную подушку, используют шариковые, роликовые подшипники или колеса, заменяя трение скольжения трением качения.

Когда же трение полезно, то его стараются увеличить. Без трения ни люди, ни машины не могли бы двигаться по земле. Вы знаете, что по асфальту легче идти, чем по льду. Поэтому в гололед тротуары и дороги посыпают песком, на обуви или автошинах применяют шипы, или подбирают соприкасающиеся материалы с большим коэффициентом трения, например, из резины.

В природе существует и жидкое трение, которое возникает между соприкасающимися слоями жидкости и газа. Сила сопротивления, возникающая при движении твердых тел в жидкостях и газах, также является силой жидкого трения. Жидкое трение изучал И. Ньютон. Жидкое трение гораздо меньше сухого трения. Законы жидкого трения, установленные Ньютоном, достаточно сложны, и вы их узнаете при дальнейшем изучении физики.



1. Какая сила называется "силой трения"?
2. Как возникает сила трения?
3. В чем состоит различие между силой трения покоя и силой трения скольжения?
4. Каковы итоги исследования трения Кулоном и Амонтонном?
5. Когда возникает сила трения качения?
6. От каких факторов зависит коэффициент трения?
7. Как изменится сила трения, если а) увеличить площадь соприкосновения двух тел; б) нагревать тела; в) отшлифовать соприкасающиеся поверхности?
8. Приведите примеры вредного и полезного проявления сил трения.
9. Для чего смазывают трущиеся детали, например солидолом?



■ Измерьте силу трения скольжения деревянного бруска с грузами: а) по столу, б) по гладкой бумаге, в) по наждачной бумаге. Для этого перемещайте брусок с грузами равномерно при помощи динамометра. Результаты измерений силы трения скольжения запишите в тетрадь. Ответьте на вопросы:

- зависит ли сила трения скольжения от рода трущихся поверхностей? От шероховатости трущихся поверхностей?
- какими способами можно увеличить и уменьшить силу трения скольжения?



1 Тележка с грузом движется по горизонтальному столу. Какой вид трения возникает между: а) столом и колесами; б) грузом и поверхностью тележки?

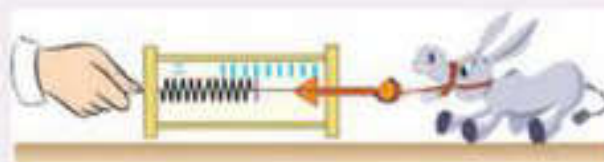
2 При равномерном перемещении ящика по полу к нему была приложена сила 4 Н. Чему равна сила сопротивления движению ящика? (4 Н)

3 Почему санки легче тянуть по снегу, чем по земле?

4 Какова сила трения, возникающая при действии горизонтальной силы, равной 5 Н, на тело массой 3 кг, если коэффициент трения между телом и горизонтальной поверхностью составляет 0,2? (5 Н)

5 Чему равен коэффициент трения бруска массой 800 г о поверхность, если для выведения его из состояния покоя требуется сила 2Н? (0,25)

6 Каков коэффициент трения между копытами ослика и дорогой, если динамометр показывает 200 Н, а масса ослика 32 кг? (0,625)



7 Какова жесткость пружины динамометра, прикрепленной к деревянному бруску массой 300 г, если при равномерном движении бруска по горизонтальной поверхности пружина растянулась на 2 см? Коэффициент трения бруска о поверхность равен 0,3. (45 Н/м)



Лабораторная работа № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Цели работы: научиться измерять силу трения скольжения, установить зависимость между силой трения, действующей на равномерно движущееся тело, и силой его нормального давления.

Оборудование: брусок, набор грузов, динамометр, деревянная линейка.

Задание 1. С помощью динамометра измеряют силу, с которой нужно тянуть брусок с грузами по горизонтальной поверхности так, чтобы он двигался равномерно. Эта сила равна по модулю силе трения $F_{\text{тр}}$, действующей на брусок. С помощью того же динамометра можно найти вес бруска с грузом. Этот вес по модулю равен силе нормального давления N бруска на поверхность, по которой он скользит. Определив таким образом значение силы трения при различных значениях силы нормального давления, необходимо построить график зависимости $F_{\text{тр}}$ от P и найти среднее значение коэффициента трения $\alpha = F_{\text{тр}} / P$.

Основным измерительным прибором в этой работе является динамометр, который имеет погрешность $\Delta F = 0,05$ Н. Она и равна погрешности измерения, если указатель совпадает со штрихом шкалы. Если же указатель в процессе измерения не совпадает со штрихом шкалы (или колеблется), то погрешность измерения силы равна $\Delta F = 0,1$ Н.

Ход работы:

1. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз.
2. Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Замерьте при этом показание динамометра.
3. Взвесьте брусок и груз.
4. К первому грузу добавьте второй, третий грузы, каждый раз взвешивая брусок и грузы и измеряя силу трения.
5. По результатам измерений заполните таблицу:

Номер опыта	Сила нормального давления, N , Н	Сила трения, $F_{\text{тр}}$	Коэффициент трения
1.			
2.			
3.			

6. Постройте график зависимости силы трения от силы нормального давления (выберите масштаб 2 клетки — 0,5 Н).
7. По графику определите коэффициент трения $\alpha_{\text{тр}}$.
8. Найдите среднее значение коэффициента трения.
9. Рассчитайте абсолютную погрешность измерения.
10. Сделайте вывод о том, как зависит сила трения скольжения от силы нормального давления.
11. Исследуйте зависимость силы трения от площади соприкосновения (дополнительное задание).



§ 21. Сложение сил, действующих на тело вдоль одной прямой



Ключевые слова:

- ✓ равнодействующая сил
- ✓ модуль равнодействующей сил



На этом уроке вы:

- научитесь определять равнодействующую нескольких сил, действующих на тело вдоль одной прямой.

В повседневной жизни на любое движущееся или покоящееся тело часто действует не одна, а несколько сил. Что же в этом случае будет происходить с телом?

Для этого необходимо найти результат общего действия на тело всех действующих сил, т.е. такую силу, которая будет оказывать такое же действие, как и все силы, действующие на тело. Эту силу стали называть *равнодействующей* этих сил.

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

Чтобы найти равнодействующую силу, необходимо сложить силы, действующие на тело. При этом необходимо помнить, что силы — *величины векторные* и результат их общего действия зависит не только от численного значения сил, но и от направления их действия.



a



б

Рис. 3.49

Рассмотрим самые простые случаи сложения сил. Это происходит тогда, когда силы, действующие на тело, направлены вдоль одной прямой.

Наблюдение 1. На железнодорожных путях стоит товарный состав, который один электровоз не в состоянии сдвинуть с места (рис. 3.49, *a*), прилагая силу \vec{F}_1 . Чтобы состав сдвинулся с места, присоединяют к нему второй электровоз, действующий с силой \vec{F}_2 в том же направлении, что и первый (рис. 3.49, *б*).

Нетрудно сообразить, что в этом случае необходимо сложить модули сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 ,

развиваемые двумя электровозами, чтобы вычислить модуль равнодействующей сил \vec{F}_p :

$$F_p = F_1 + F_2. \quad (21.1)$$

Модуль равнодействующей сил равен сумме модулей всех действующих сил, если они направлены вдоль прямой в одну сторону. Направление равнодействующей сил в этом случае совпадает с направлением действующих сил.



Рис. 3.50



Рис. 3.51

Наблюдение 2. Автомобиль движется равномерно и прямолинейно по горизонтальной дороге (рис. 3.50).

Вдоль горизонтальной прямой на него действуют три силы: сила тяги двигателя $\vec{F}_т$, сила трения колес о дорогу $\vec{F}_{тp}$ и сила сопротивления о воздух $\vec{F}_с$. Если автомобиль движется равномерно, то модуль равнодействующей сил \vec{F}_p равен нулю, т. е.

$$F_p = F_т - F_{тp} - F_с = 0.$$

Следовательно, если равнодействующая всех сил, приложенных к телу, равна нулю, то тело движется прямолинейно, т. е. по инерции.

Если силы тяги двигателя $\vec{F}_т$ больше силы трения колес о дорогу $\vec{F}_{тp}$ и силы сопротивления воздуха $\vec{F}_с$, то в этом случае в горизонтальном направлении модуль равнодействующей сил \vec{F}_p равен разности модулей этих сил:

$$F_p = F_т - F_{тp} - F_с.$$

Модуль равнодействующей сил равен разности модулей действующих сил, если они направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны. В этом случае равнодействующая сил направлена в сторону большей по модулю силы (рис. 3.51).



1. Какая сила называется "равнодействующей"?
2. Как сложить силы, лежащие на одной прямой, но направленные в одну сторону?
3. Как сложить силы, лежащие на одной прямой, но направленные в противоположные стороны?
4. На тело действуют две силы 5 Н и 8 Н, направленные в одном направлении. Чему равна равнодействующая этих сил?
5. Как будет вести себя тело массой 500 г, на которое действуют силы 15 Н и 25 Н в одном направлении?

Примеры решения задач



Рис. 3.52

Задача 1. Как изменятся показания динамометра (рис. 3.52), если к нему приложить еще одну силу, направленную вертикально вниз, но вдвое меньшую?

Решение. Сила, действующая на груз, равна $F_1 = 8,5$ Н. Величина второй силы равна $F_2 = \frac{F_1}{2} = 4,25$ Н. Так как обе силы действуют в одном направлении, то равнодействующая их сил равна сумме их модулей.

$$F_p = F_1 + F_2 = (8,5 + 4,25) \text{ Н} = 12,75 \text{ Н}.$$

Ответ : $F = 12,75$ Н.

Задача 2. Один мальчик толкает сани сзади с силой 40 Н, а второй тянет их за веревку с силой 15 Н. Изобразите эти силы графически, считая, что они направлены горизонтально, и найдите их равнодействующую.

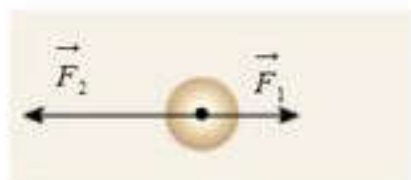
Решение. Сила $F_1 > F_2$ (по модулю), поэтому длина стрелки этой силы на чертеже больше. Так как силы, приложенные мальчиками, действуют в одном направлении, то равнодействующую силу находим по формуле

$$F_p = F_1 + F_2; R = 40 \text{ Н} + 15 \text{ Н} = 55 \text{ Н}.$$

На чертеже эту силу изображаем направленным отрезком, длина которого равна сумме длин отрезков сил \vec{F}_1 и \vec{F}_2 .



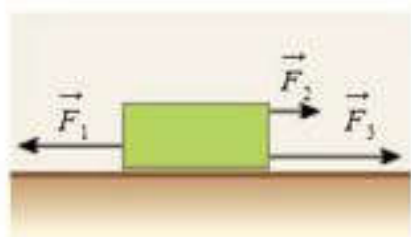
Ответ : $F_p = 55$ Н.



Задача 3. Чему равна равнодействующая двух сил $F_2 = 6$ Н и $F_1 = 2$ Н, приложенных к мячу, и куда она направлена?

Решение. $F_p = F_2 - F_1;$
 $F_p = 6 \text{ Н} - 2 \text{ Н} = 4 \text{ Н}.$

Ответ : $F_p = 4$ Н, направлена влево.



Задача 4. На движущийся автомобиль в горизонтальном направлении действует сила тяги двигателя 1,25 кН, сила трения о дорогу

составляет 600 Н и сила сопротивления воздуха 350 Н. Чему равна равнодействующая этих сил?

Решение. $F_p = F_1 - (F_2 + F_3);$

$$F_p = F_1 - F_2 - F_3.$$

$$F_p = 1250 \text{ Н} - 600 \text{ Н} - 350 \text{ Н} = 300 \text{ Н}.$$

Ответ : $F_p = 300 \text{ Н}$, равнодействующая сила направлена влево.



1 Электровоз тянет вагоны с силой 320 кН. Сила сопротивления 180 кН. Какова равнодействующая этих сил? (140 кН)

2 На тело действует сила 9 Н (см. рис. 3.53). Какую силу и в какую сторону надо приложить, чтобы равнодействующая совпала с приложенной силой по направлению и была бы равна 7 Н? (2 Н, влево)

3 К телу приложены две силы $F_1 = 3 \text{ кН}$, $F_2 = 4 \text{ кН}$ (см. рис. 3.54). Чему равна равнодействующая двух сил, приложенных к телу, и куда она направлена? (1 кН, вправо)

4 Найдите равнодействующую трех сил, приложенных к телу в точке А (рис. 3.55), и ее направление. (5 Н, влево)

5 На тело по одной прямой действуют силы 3 Н; 4 Н; 5 Н. Какие значения может принимать равнодействующая этих сил? (12 Н, 6 Н, 2 Н, 4 Н)?

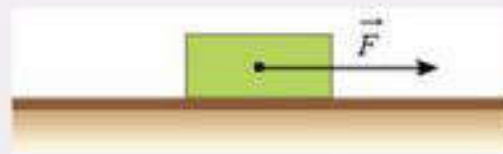


Рис. 3.53

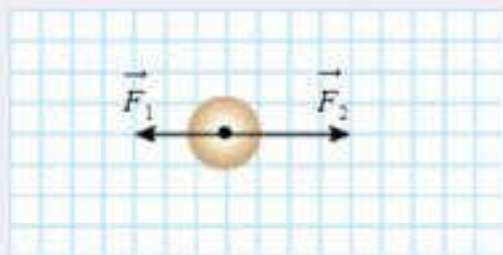


Рис. 3.54

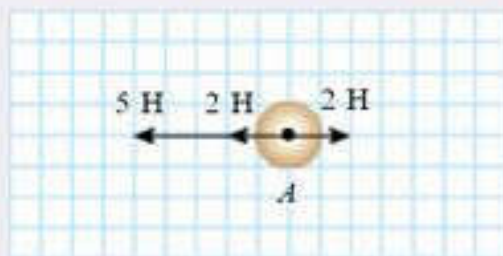


Рис. 3.55

Самое важное в главе

“Взаимодействие тел”



Давление

По морям и океанам плавают корабли. Корпуса и другие детали кораблей изготавливаются из стали и различных материалов, плотность которых намного больше плотности воды.

Тогда каким образом корабль плавает по воде?

Фонтаны известны уже 2000 лет. Первые фонтаны появились в Древнем Риме и Греции. Сейчас в мире много самых удивительных и красивых фонтанов, которые приносят в нашу жизнь ощущение тишины, спокойствия и свежести.

На каком принципе основана работа этих прекрасных фонтанов?

Мечта человека подняться в небо осуществилась благодаря изобретению воздушного шара. Из поколения в поколение люди сохраняют и развивают этот символ начала эпохи воздухоплавания.

Как осуществляется полет на воздушных шарах — аэростатах, стратостатах?

Насосы необходимы для перекачивания жидкостей или газов. С помощью насоса можно накачать колесо автомобиля или велосипеда.

Как работают такие насосы?





§ 22. Давление. Передача давления твердыми телами



Ключевые слова:

- ✓ давление
- ✓ сила давления
- ✓ паскаль

На этом уроке вы:

- узнаете, что называют *давлением*;
- научитесь рассчитывать давление, оказываемое твердыми телами.



Всегда ли действие одной и той же силы на одно и то же тело приводит к одинаковому результату?



Мысленный эксперимент!

Пусть в вашем распоряжении имеются два гвоздя одинакового сечения с одинаковыми шляпками, забитые в деревянную дощечку; гиря массой 100 г и сосуд с песком. На дощечку поставьте гирю, гвозди воткните в песок шляпками вниз, а потом шляпками вверх (рис. 4.1 и 4.2). Объясните наблюдаемое явление.



Рис. 4.1



Рис. 4.2

Результаты опыта показывают, что во втором случае гвозди погружаются в песок глубже. Таким образом, одна и та же сила (в данном случае вес гири) оказывает разное действие.

Глубина погружения, т. е. результат оказанного воздействия, зависит от площади той стороны гвоздя, на которую его ставят. Чем меньше площадь поверхности гвоздя (площадь острого конца гвоздя), тем больше глубина его погружения.

Из приведенных примеров следует, что чем больше площадь поверхности, на которую действует сила, тем меньше будет результат действующей силы. Во всех рассмотренных случаях сила действовала перпендикулярно поверхности, так как твердые тела передают силу давления, сохраняя ее направление. Это свойство твердых тел — пере-

давать силу давления, сохраняя ее направление — можно объяснить тем, что молекулы и атомы в твердом теле связаны упругими силами. При деформации сжатия или растяжения твердого тела между его частицами возникают упругие силы взаимодействия в направлении действия силы давления.

Для того чтобы разобраться в природе возникновения давления, нам необходимо, опираясь на наши знания о строении вещества, провести мысленные эксперименты. Мы знаем, что все тела состоят из атомов или молекул и между ними одновременно действуют как силы притяжения, так и силы отталкивания. Внешняя сила, приложенная к телу, будет воздействовать только на строго определенное число атомов или молекул, расположенных на площади, к которой приложена эта сила. Чем меньше площадь, на которую действует внешняя сила, тем меньшее число атомов или молекул тела будут оказывать “коллективное” сопротивление приложенной силе. Допустим, что внешняя сила оказывала воздействие на площадь, в которой находится 1 000 000 атомов. Именно эти атомы будут противодействовать данной силе. С увеличением величины внешней силы будет возрастать и величина противодействия со стороны атомов. В конце концов, может наступить такой момент, когда атомы будут не в состоянии противостоять внешнему воздействию. Атомы вынуждены расступиться и твердое тело “потечет”. Если же внешняя сила будет действовать на площадку, на которой расположено всего 100 атомов, то давление, оказываемое на них малой силой, будет настолько велико, что атомы сразу начнут раздвигаться и тело “потечет” в этом месте гораздо раньше.



Мысленный эксперимент!

Для образного представления механизма передачи давления твердыми телами силы взаимодействия между атомами мысленно заменим очень жесткими пружинами (рис. 4.3). Если подействовать некоторой небольшой силой на верхнюю грань перпендикулярно ее поверхности, то сожмутся только вертикальные пружины. Эта деформация передается с помощью пружин до поверхности стола, в результате чего сила будет оказывать давление на стол.

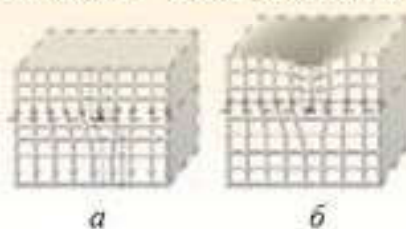


Рис. 4.3

Из этого мысленного эксперимента следует, что твердые тела передают давление только в направлении действия силы.

Результат действия силы зависит от ее значения. Чем больше сила, действующая на тело, тем больше должно быть и оказываемое воздействие. Так, если увеличивать массу гирь, то сила, действующая на песок, и глубина погружения гвоздей также увеличатся. Следова-



Блез Паскаль
(1623—1662)

Французский математик, физик, литератор и философ. Один из основателей математического анализа, теории вероятностей и геометрии, создатель первых образцов счетной техники, автор основного закона гидростатики.



Втыкая иголку в ткань, мы производим давление около 100 МПа.

Вам предложили создать большое или малое давление. Каким образом вы сможете это сделать? (Воспользуйтесь формулой (22.1) и проанализируйте ее.)



Объясните результаты перемещения мальчика и лыжника.



но, результат действия силы зависит и от ее значения. Чем больше сила, действующая на песок, тем больше и оказываемое воздействие. Большая по значению сила, действующая на ту же площадь, будет оказывать большее давление. Из подобных опытов следует, что результат действия силы зависит от ее модуля и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.

Физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно к поверхности тела, к площади этой поверхности, называется *давлением*.

Обозначают давление буквой p , тогда:

$$p = \frac{F}{S}. \quad (22.1)$$

Сила, приложенная перпендикулярно к поверхности тела, называется *силой давления*.

По известным значениям давления и площади можно определить силу давления:

$$F = pS. \quad (22.2)$$

В Международной системе СИ единицей измерения давления является паскаль. Она названа так в честь французского физика Блеза Паскаля, много сделавшего в области исследования давлений жидкостей и газов.

1 Па — это такое давление, которое производит сила в 1 Н, действующая перпендикулярно поверхности, площадь которой 1 м²,

$$\text{т. е. } 1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}.$$

На практике встречаются давления очень большие и очень маленькие. Для удобства записи значений этих давлений используют известные вам десятичные приставки. Например, 1 кПа, 4 мПа, 8 МПа и т. д.

**Обратите внимание!**

Не путайте понятия *давление* и *сила давления*! *Запомните*: давление измеряется в паскалях, а сила давления — в ньютонах!

Знаете ли вы?

1 Па — сравнительно небольшое давление. Если взять примерно 100 г песка и равномерно рассыпать его по горизонтальной поверхности стола площадью 1 м², то давление, которое будет испытывать стол, и даст вам представление о давлении в 1 Па.



1. Что вы понимаете под "силой давления"?
2. Что вы понимаете под "давлением"?
3. Каким образом можно увеличить или уменьшить давление?
4. Дайте определение 1 Па.
5. Приведите примеры, показывающие, как давление зависит от величины силы, действующей на тело?
6. Как зависит давление, оказываемое силой, действующей перпендикулярно к поверхности тела от площади поверхности?
7. Каков механизм передачи давления твердыми телами?
8. Почему трава может прорасти через асфальт?
9. Приведите примеры проявления давления в быту, природе.



1. Рассчитайте давление, которое производит деревянный брусок на стол разными своими гранями.
2. Рассчитайте давление, которое производит стальной брусок таких же размеров, что и деревянный на стол разными своими гранями.
3. Рассчитайте давление, которое производит деревянная усеченная пирамида на стол разными своими гранями.



Усеченная пирамида



1. Для чего рельсы укладывают на шпалы?
2. Какое давление оказывает оса своим жалом, когда вонзается в кожу человека, если площадь острия жала $3 \cdot 10^{-12}$ см², а сила, с которой оса вонзает жало, равна 9 мкН. (3 МПа)
3. Мальчик массой 45 кг стоит на лыжах. Длина каждой лыжи 1,5 м, ширина 10 см. Какое давление оказывает маль-

чик на снег? Сравните его с давлением, которое производит мальчик, стоящий без лыж, если площадь его ботинка 214 см². ($\frac{p_2}{p_1} = 7$)

4. Какую силу надо приложить к головке гвоздя, чтобы он производил давление 10⁸ Па, если площадь острия равна 0,5 мм²? (50 Н)

§ 23. Давление в жидкостях и газах. Закон Паскаля



На этом уроке вы:



Ключевые слова:

- ✓ давление газа
- ✓ закон Паскаля

- узнаете, в чем состоит закон Паскаля;
- научитесь объяснять давление газа на основе молекулярного строения вещества.



Оказывают ли давление жидкости и газы?

Для этого вспомним, как ведут себя молекулы газа. Молекулы газа непрерывно и хаотично движутся и постоянно сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда, в котором находится газ. На каждый квадратный сантиметр поверхности стола, стенки комнаты, пола, тетради за 1 с ударяется примерно 10^{23} молекул. Удар каждой молекулы очень слаб, но действие 10^{23} частиц довольно значительно. Именно эти удары и создают давление газа на дно, потолок и стенки

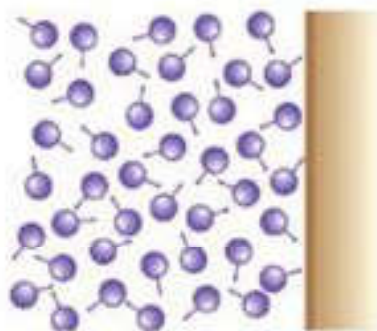


Рис. 4.4

сосуда (рис. 4.4). Попробуем выяснить, от чего зависит давление газа на дно и стенки сосуда, в котором он находится. Для этого проведем несколько опытов.

Опыт 1. Возьмем толстостенный стеклянный цилиндр. Одну его сторону заклеим пластилином, а в другую начнем вдвигать поршень (рис. 4.5). Мы увидим, что через некоторое время пластилиновая пробка вылетит из цилиндра. Это означает, что давление воздуха в цилиндре при сжатии возросло. Произошло это из-за того, что увеличилось число ударов молекул на единицу площади. До сжатия молекулы газа занимали больший объем, а после сжатия газа это же количество молекул сосредоточилось в меньшем объеме. Поэтому возросло число ударов молекул на стенки сосуда, что привело к увеличению давления.

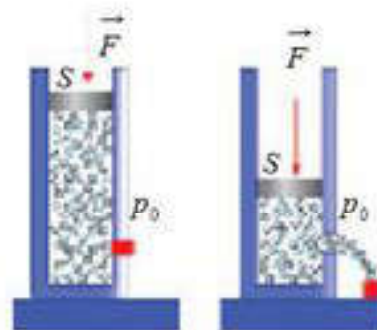


Рис. 4.5

Опыт 2. Если температуру газа повысить, то его молекулы начнут двигаться быстрее. Из-за этого возрастет сила их удара о стенки сосуда, а следовательно, и давление газа. Это можно подтвердить с помощью простого опыта. Если колбу нагревать (можно даже ладонями), то пузырек подкрашенной жидкости (воды) в горизонтальной трубке начнет перемещаться вправо (рис. 4.6). Значит, давление в колбе повысилось, а вместе с ней возросла сила давления газа, находящегося в колбе, на пузырек.

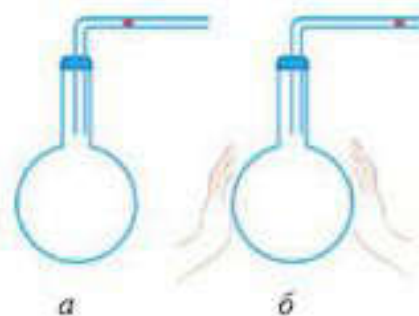


Рис. 4.6

Итак, **давление газа тем больше, чем выше его температура и меньше объем при неизменной массе.**

О температуре газа можно судить, измеряя его давление в постоянном объеме (например, в стеклянной колбе). Такие газовые термометры существуют, и они отличаются высокой точностью измерения. Технологически данный способ более удобен, чем тот, который основан на тепловом расширении.

Теперь же попробуем выяснить механизм передачи давления жидкостями и газами. Для этого проведем следующий опыт.

Опыт 3. Прделаем опыт, используя шар Паскаля. Он имеет маленькие отверстия по всей поверхности и присоединенную к нему трубку с поршнем (рис. 4.7, а). Шар заполним водой. Если вдвигать поршень, создавая избыточное давление внутри шара, то из всех отверстий начнут выходить струйки воды (рис. 4.7, б). То же самое происходило бы и с дымом. Этот опыт тоже подтверждает тот факт, что давление газами и жидкостями передается одинаково по всем направлениям.

Передача давления жидкостями и газами объясняется подвижностью их молекул. Давление, которое оказывает поршень на ближайший к нему слой, передается последующим слоям. Молекулы жидкости и газа движутся хаотически, и их действие передается по всему объему шара.

На основании опыта, приведенного выше, можно сделать следующий вывод:



Рис. 4.7

Давление, производимое на жидкость или газ, передается одинаково по всем направлениям.

Это утверждение называется **законом Паскаля**. Закон назван в честь знаменитого французского физика Блеза Паскаля, изучавшего механизм передачи давления жидкостями и газами.



1. Чем обусловлено давление газа на стенки сосуда, в котором он находится?
2. Как меняется давление газа при сжатии и почему?
3. Как меняется давление газа при его нагревании, почему?
4. Почему жидкости и газы передают давление по всем направлениям одинаково? Ответ обоснуйте.
5. Сформулируйте закон Паскаля.
6. При открытом кране практически невозможно полностью перекрыть воду рукой, а небольшое отверстие в шланге для полива закрыть несложно. Почему?



1 Газ, находящийся в сосуде, оказывает на левую стенку давление в 300 Па. Какое давление производит газ на нижнюю, верхнюю и правую стенки сосуда?

2 Если выстрелить из винтовки в вареное яйцо, то в нем образуется отверстие. Если же выстрелить в сырое яйцо, оно разлетится. Почему?

3 Используя закон Паскаля, можно изготавливать бутылки, стеклянные и пластиковые тела произвольной формы. Объясните, как можно изготовить стеклянный кувшин, показанный на рис. 4.8.



Рис. 4.8

§ 24. Гидростатическое давление

На этом уроке вы:

- узнаете, какое давление называется *гидростатическим*;
- научитесь по формуле рассчитывать величину гидростатического давления.



Ключевые слова:

- ✓ гидростатическое давление

На любое тело, находящееся на Земле, действует сила тяжести, и поэтому любая жидкость в сосуде будет оказывать давление на дно и стенки сосуда.

Опыт 1. Используя мембранный манометр (рис. 4.9, а), с помощью которого измеряют давление, исследуем, как меняется давление жидкости с глубиной. Для этого опустим в жидкость на небольшую глубину мембранный манометр и будем его перемещать как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. При перемещении манометра в горизонтальной плоскости его показания не изменяются, что согласуется с законом Паскаля. А при перемещении манометра в вертикальной плоскости показания манометра повышаются с ростом глубины его погружения в жидкость. А это говорит о том, что с увеличением глубины возрастает давление жидкости на дно и стенки сосуда.

Рассчитаем величину этого давления. Чтобы упростить расчеты, воспользуемся сосудом цилиндрической формы с площадью основания S . Нальем в сосуд жидкость плотностью ρ массой m до уровня h (рис. 4.9, б).

Давление, которое оказывает жидкость на дно сосуда, определим по формуле (22.1). В нашем случае $F_1 = mg$. Тогда давление жидкости на дно сосуда будет равно:

$p = \frac{F_1}{S} = \frac{mg}{S}$. Массу жидкости выразим через ее плотность и объем: $m = \rho V$. Так как объем жидкости, находящейся в цилиндрическом сосуде, равен $V = Sh$, то масса жидкости в сосуде будет равна: $m = \rho Sh$. Тогда давление, которое оказывает жидкость на дно сосуда, будет равно:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh, \text{ т. е. } p = \rho gh. \quad (24.1)$$



Рис. 4.9

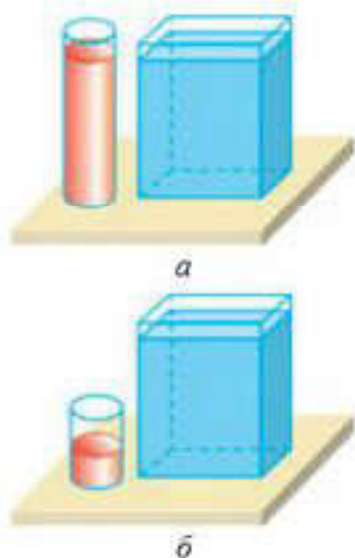


Рис. 4.10

Давление жидкости, рассчитываемое по формуле (24.1), называется **гидростатическим давлением**. Из формулы (24.1) 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 (рис. 4.10, а).

Если взять два сосуда и налить в них ртуть и воду так, чтобы высота столба воды была в 13,6 раза больше, то давление на дно в обоих сосудах будет одинаковым, независимо от размеров сосудов (рис. 4.10, б). Многие устройства и сооружения работают за счет создания в них гидростатического давления.

Например, водопровод, канализация, шлюзы, водяные мельницы, сообщающиеся сосуды и многие другие. Система орошения и полива тоже основана на гидростатическом давлении. Раньше многие фонтаны работали благодаря гидростатическому давлению.



1. Какое давление называется "гидростатическим"?
2. Как рассчитать величину гидростатического давления?
3. Как зависит гидростатическое давление на дно сосуда от площади его дна?
4. Приведите примеры использования гидростатического давления в быту.
5. Объясните принцип действия водяной мельницы.
6. Попробуйте объяснить, какую цель преследуют, когда строят высокие плотины, перегораживая русла рек?



Изготовим сами!

Возьмите пластиковую бутылку, сделайте в ней три одинаковых отверстия на разной высоте, заклейте их пластилином. Наполните бутылку водой, поставьте ее в раковину или ванну, откройте отверстия и наблюдайте за струйками воды, вытекающей из бутылки. Опишите наблюдаемое явление и объясните его.



- 1 Какова высота водонапорной башни (в метрах), если воду в нее приходится поднимать, создавая насосом давление в 500 кПа? Плотность воды 1 г/см^3 . Коэффициент g считать 10 Н/кг . (50 м)
- 2 Бак объемом 20 м^3 и высотой 3,6 м на $3/4$ заполнили водой для полива. Определите силу, с которой давит вода, находящаяся в баке на пробку, расположенную у дна бака, если площадь пробки 18 см^2 . (486 Н)
- 3 Какое минимальное давление должен развивать насос, подающий воду на высоту 30 м? (300 кПа)
- 4 Сосуд с водой в форме куба с длиной ребра 36 см доверху заполнен водой и керосином одинаковой массы. Каково давление жидкостей на дно сосуда? (3,2 кПа)

§ 25. Сообщающиеся сосуды

На этом уроке вы:

- узнаете, какие сосуды называются *сообщающимися*;
- научитесь объяснять поведение жидкости в сообщающихся сосудах.



Ключевые слова:

- ✓ сообщающиеся сосуды
- ✓ гидростатический парадокс

Сосуды, имеющие общую часть, заполненную покоящейся жидкостью, называются *сообщающимися сосудами*. Примерами сообщающихся сосудов могут служить: чайник, лейка, кофейник (рис. 4.11). Свойство жидкости передавать давление по всем направлениям позволит нам объяснить принцип действия сообщающихся сосудов.

Опыт 1. Если возьмем две стеклянные трубки и соединим их прозрачной резиновой трубкой (рис. 4.12), то получатся сообщающиеся сосуды.

С помощью лабораторного зажима пережмем резиновую трубку посередине. Нальем в левую трубку воду, откроем зажим. Вода будет перетекать из левой трубки в правую, пока уровни воды не установятся и не будут одинаковыми. Возникает вопрос: почему же вода установилась на одном уровне?

Чтобы ответить на этот вопрос, рассчитаем давление, оказываемое водой, находящейся справа и слева, ровно посередине резинового шланга. Величину давления жидкости (воды) можно найти по формуле:

$$p_1 = \rho g h_1, \quad p_2 = \rho g h_2. \quad (25.1)$$

Жидкость однородная, поэтому и плотность ее одинаковая. Как показывает опыт, уровни воды в трубках сровнялись, следовательно, давление справа и слева одинаковое.

Итак, в сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне.

Опыт 2. При замене левой трубки трубкой большего диаметра, если повторить опыт 1, мы увидим, что когда уровни воды в трубках



Рис. 4.11



Рис. 4.12

сравниваются, перегородка не будет деформирована. Значит, и в этом случае давление на перегородку справа и слева одинаковое.

Если в данный момент перегородку разорвать, то вода в правой и левой части останется на прежнем уровне. Этот факт выглядит странным. Несмотря на то что в правом колене сообщающегося сосуда масса воды больше, а в левом меньше, давление на перегородку оказалось одинаковым. Это явление только на первый взгляд кажется парадоксальным.

Опыт 3. Возьмем сообщающиеся сосуды различной формы (рис. 4.13) и заполним их водой. Опыт покажет, что однородная жидкость в них установится на одном уровне. Это явление назвали **гидростатическим парадоксом**.

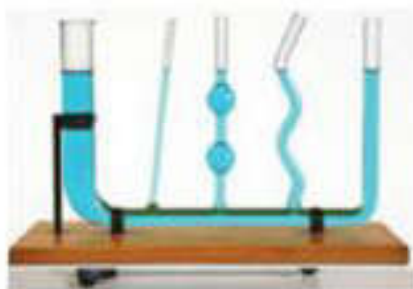


Рис. 4.13

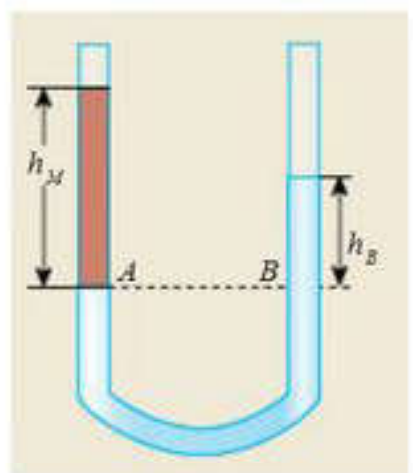


Рис. 4.14

Опыт 4. Выясним, как будут вести себя разнородные жидкости, залитые в сообщающиеся сосуды. Для этого повторим опыт 1, наливая в правое колено U-образной трубки воду, а в левое — растительное масло на одинаковом уровне. После того как зажим, установленный ровно посередине прозрачного шланга, будет открыт, вода начнет перетекать в левое колено U-образной трубки, вытесняя масло (рис. 4.14).

Будем доливать масло в левое колено до тех пор, пока граница раздела жидкостей не окажется на уровне AB . Это будет означать, что давление столба масла $h_M = h_1$ уравновешивается давлением столба воды $h_2 = h_2$, т. е.:

$$p_1 = \rho_1 g h_1, \quad p_2 = \rho_2 g h_2.$$

Так как $p_1 = p_2$, то $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$. Тогда

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}. \quad (25.2)$$

Из формулы (24.2) следует, что в сообщающихся сосудах высоты столбов разнородных жидкостей обратно пропорциональны их плотностям.

Сообщающиеся сосуды представляют практический интерес. На этом принципе работают и водомерные трубки, которые показывают уровень жидкости в непрозрачном сосуде, и шлюзы рек и каналов, которые позволяют судам проплывать пороги, и водопровод, который снабжает водой высотные здания. Таких примеров можно привести множество.



1. Какие сосуды называются "сообщающимися"?
2. Как соотносятся высоты однородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
3. Как соотносятся высоты разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
4. Приведите примеры использования сообщающихся сосудов в быту, технике, в окружающем нас мире.



Изготовим сами!

Фонтан. Соорудите самый простой фонтан своими руками. Для этого возьмите пластиковую бутылку с отрезанным дном, подберите пробку, закрывающую узкий конец. В пробке сделайте сквозное отверстие. Его можно просверлить или прожечь раскаленным гвоздем. В отверстие должна плотно входить изогнутая в форме буквы П пластиковая трубочка. Зажмите пальцем отверстие трубки, переверните бутылку вверх дном и наполните водой. Когда откроете выход из трубки, вода забьет из нее фонтаном. Он будет работать до тех пор, пока уровень воды в большом сосуде не сравняется с открытым концом трубки. Попробуйте объяснить, почему это так. Можете сами спроектировать и изготовить фонтан более сложной формы, например, для использования увлажнителя воздуха для цветов.

Использование гидростатического давления



Кяризы — ирригационная система колодцев с подземными каналами для орошения полей, по которым из горных речек Каратау в г. Сауран подавалась вода, (X—XVIII вв.). Ныне Южный Казахстан.



Водопроводные трубы и кяризы в бане. В трубы вода подавалась из водохранилища р. Талас. (XI—XII вв.) Ныне г. Тараз.



Водяная мельница, г. Сарай Бату, Золотая Орда, 1250—1480 гг. Ныне Карабагинский район Астраханской области.



Этот мост был частью 50-километрового водопровода, снабжавшего питьевой водой г. Ним в середине I в. н. э. Современная Франция.

§ 26. Гидравлические машины



Ключевые слова:

- ✓ гидравлические машины
- ✓ гидравлический пресс
- ✓ выигрыш в силе

На этом уроке вы:

- узнаете принцип действия гидравлических машин;
- научитесь рассчитывать выигрыш в силе при использовании гидравлических машин.



Рис. 4.15

Закон Паскаля лежит в основе устройства и работы гидравлических машин (от греч. слова *гидравликос* — “водяной”).

Гидравлические машины — это машины, действие которых основано на законах движения и равновесия жидкостей. Основной частью любой гидравлической машины являются два цилиндра разного диаметра, соединенные между собой трубкой (рис. 4.15).

Внутри сосудов могут перемещаться поршни, под которыми находится жидкость.

Если на левый поршень, площадь которого S_1 , подействовать силой F_1 , то под ним возникнет давление $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$.

Согласно закону Паскаля, давление p_1 будет передаваться жидкостью по всем направлениям без изменения. Тогда на правый поршень, площадь которого S_2 , будет действовать сила давления $F_2 = p_2 S_2$, направленная вверх, откуда $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$. Так как $p_1 = p_2$, то получим, что $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Отношение $\frac{F_2}{F_1}$ показывает, во сколько раз сила F_2 больше силы F_1 . Его называют **выигрышем в силе**.

Любая гидравлическая машина дает выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь ее большего поршня больше площади меньшего.

Рассмотрим принцип действия гидравлического пресса.

Гидравлический пресс. Машина, предназначенная для обработки материалов давлением, приводится в действие сжимаемой жидкостью. Устройство гидравлического пресса приведено на рис. 4.16.

A — прессуемое тело; B — большой поршень с цилиндром пресса; D — малый поршень с цилиндром пресса; K и K' — клапаны; Π_1 — верхняя платформа; Π_2 — нижняя платформа; M — манометр; $Ж$ — резервуар с жидкостью; P — предохранительный клапан.

Действуя на малый поршень D с силой, мы создаем давление, которое перегоняет жидкость из малого цилиндра в большой. Платформа Π_2 при этом поднимается и прижимает прессуемое тело A к верхней платформе Π_1 . Как только малый поршень начинает возвращаться в исходное положение, клапан K' закрывается, не давая жидкости из большого цилиндра перетекать в малый. При этом открывается клапан K , впуская жидкость из резервуара $Ж$ в малый цилиндр. При следующем ходе малого поршня вниз клапан K закрывается, и жидкость под давлением перетекает в большой цилиндр, открывая клапан K' . Манометр необходим для контроля над давлением.

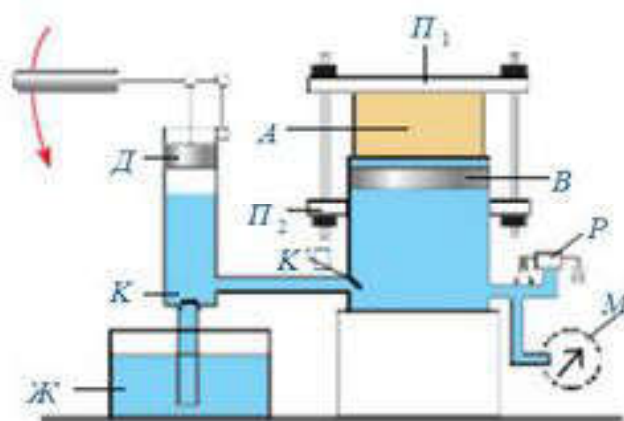


Рис. 4.16



Принцип действия гидравлического домкрата (рис. 4.17) аналогичен принципу действия гидравлического пресса. Он предназначен для подъема тяжелых предметов, автомобилей, ящиков с готовыми металлическими деталями, осуществляет погрузочные работы (автокары).

С помощью гидравлического тормоза (рис. 4.18) осуществляется торможение автомобилей. Когда водитель давит на педаль 1, то поршень в цилиндре 2 производит давление на жидкость, находящуюся в цилиндре 2, трубке 3 и тормозном цилиндре 4. Под действием силы давления поршни 5, находящиеся в тормозном цилиндре 4, раздвигаются и прижимают тормозные колодки 6 к тормозному барабану.



Рис. 4.17

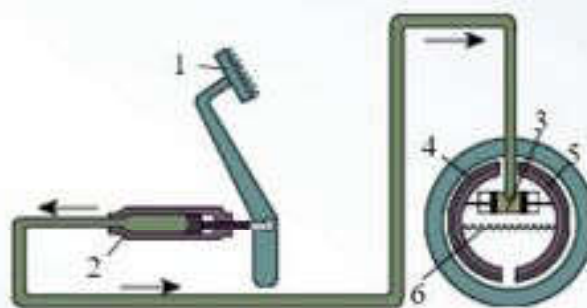


Рис. 4.18

Гидравлические прессы применяются на металлургических заводах дляковки, штамповки и прессовки металлоизделий, выдавливания профилей и труб. С помощью гидравлических прессов получают фанеру, картон, брикетируют металлолом.



1. Какие устройства называются “гидравлическими машинами”?
2. Какой выигрыш в силе дает гидравлическая машина?
3. Какой закон лежит в основе работы гидравлических машин?
4. Как устроен и как работает гидравлический пресс?

Примеры решения задач

Задача 1. Какова масса мраморного куба, оказывающего на горизонтальный пол давление 41 кПа?

Дано: $p = 41 \text{ кПа}$ $\rho = 2700 \text{ кг/м}^3$ $m = ?$	СИ $4,1 \cdot 10^4 \text{ Па}$	Решение. Давление на пол, по определению, равно отношению силы к площади поверхности, на которую действует эта сила.
--	-----------------------------------	--

В нашем случае куб своей силой тяжести действует на площадь основания куба (рис. 4.19), т. е. $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$. Массу куба найдем так: $m = \rho V = \rho Sh$. Тогда давление куба на пол будет равно:

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho hg, \tag{1}$$

где h — длина ребра куба. Из (1) имеем: $h = \frac{p}{\rho g}$.

Объем куба $V = h^3$, а масса $m = \rho h^3 = \rho \frac{p^3}{\rho^3 g^3} = \frac{p^3}{\rho^2 g^3}$.

Проверим размерность:

$$[m] = \frac{\text{Па}^3}{\frac{\text{кг}^2}{\text{м}^6} \cdot \frac{\text{Н}^3}{\text{кг}^3}} = \frac{\frac{\text{Н}^3}{\text{м}^6}}{\frac{\text{Н}^3}{\text{м}^6 \text{ кг}}} = \text{кг}.$$

Произведем вычисления:

$$m = \frac{68,92 \cdot 10^{12}}{7,29 \cdot 10^6 \cdot 10^3} \text{ кг} = 9454 \text{ кг}.$$



Рис. 4.19

Ответ : $m = 9454 \text{ кг}$.

Задача 2. Давление в водопроводной трубе равно 0,3 МПа. С какой силой давит вода на пробку, закрывающую отверстие трубы? Площадь отверстия 4 см².

Дано:	СИ	Решение. Сила давления равна произведению давления воды на площадь, т.е. $F = pS = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па} \cdot 4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 = 120 \text{ Н}$.
$p = 0,3 \text{ МПа}$	$0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$	
$S = 4 \text{ см}^2$	$4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$	
$F = ?$		

Ответ : $F = 120 \text{ Н}$.

Задача 3. Какой глубины должно быть ртутное озеро, чтобы давление в нем было такое же, как и в самой глубокой морской впадине — Марианской? Глубина этой впадины 11 км 22 м.

Дано:	Решение. Так как $p_1 = p_2$ по условию, а гидростатическое давление находится по формуле $p = \rho gh$, то $\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$. Отсюда $h_2 = h_1 \frac{\rho_1}{\rho_2}$.
$h_1 = 11\,022 \text{ м}$	
$\rho_1 = 1030 \text{ кг/м}^3$	
$\rho_2 = 13\,600 \text{ кг/м}^3$	
$h_2 = ?$	

Произведя вычисления, получим, что

$$h_2 = 11\,022 \text{ м} \frac{1030 \text{ кг/м}^3}{13\,600 \text{ кг/м}^3} = 834,75 \text{ м}.$$

Ответ : $h_2 = 834,75 \text{ м}$.

Задача 4. Изменится ли давление воды на дно стакана, если опустить в воду палец, не касаясь дна стакана?

Решение. Сила давления жидкости на дно зависит от ее уровня в сосуде. Это следует из формулы $F_{\text{дно}} = pS = \rho ghS$.

Если первоначально стакан был заполнен не доверху, то после опускания пальца в воду ее уровень поднимется (тело, погруженное в жидкость, вытесняет из нее объем, равный объему тела), из-за чего возрастет сила давления на дно. Если же стакан был заполнен доверху, то сила давления на дно не изменится, так как часть воды выльется из стакана.

Задача 5. Каково давление воды в точках А, В, С, лежащих на одном уровне (рис. 4.20)?

Решение. При решении таких задач часто допускают ошибку, считая, что $p_A < p_C$

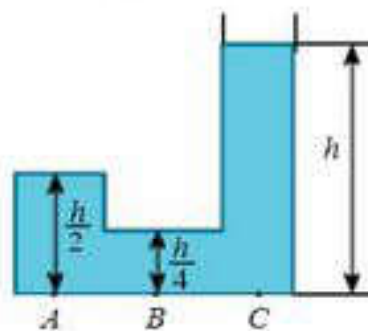


Рис. 4.20

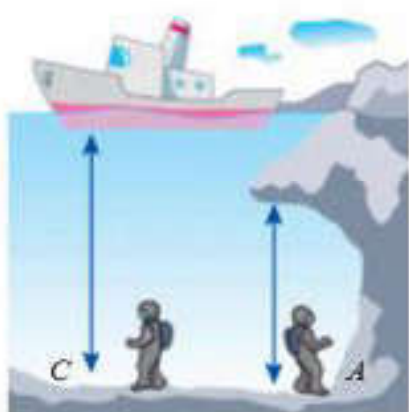


Рис. 4.21

так как высота столба воды над точкой A меньше, чем над точкой C . На самом же деле $p_A = p_B = p_C$. Почему?

Жидкость в сосуде покоится, значит, давление во всех точках, лежащих на одном уровне, одинаково. Иначе происходило бы перетекание жидкости в сторону меньшего давления. Перетекания нет, значит: $p_A = p_B = p_C$. А так как давление в точке C равно $p_C = \rho gh$, то $p_A = p_B = p_C = \rho gh$.

Делаем вывод: при вычислении давления жидкости глубину следует отсчитывать от свободной поверхности этой жидкости.

Если аквалангист, нырнув глубоко в воду, попадет в подводную пещеру (точка A на рис. 4.21), он будет испытывать такое же давление, что и в точке C : от давления воды нельзя “спрятаться”.

Задача 6. До какой высоты следует налить воду в сосуд, имеющий форму куба со стороной a , чтобы сила давления воды на дно сосуда была: а) в 5 раз больше силы давления воды на боковые стенки; б) равна силе давления воды на боковые стенки?

Дано:

$$\begin{array}{l} a \\ F_{\text{дно}} = 5F_{\text{бок.}} \\ h - ? \end{array}$$

Решение. В соответствии с законом Паскаля давление передается по всем направлениям без изменения (и на дно, и на боковые стенки). На рис. 4.22 схематично (с помощью стрелок) показано распределение давления по высоте.

Силу давления воды на дно сосуда найдем, используя формулу $p = \frac{F_{\text{дно}}}{S_1}$. Отсюда $F_{\text{дно}} = p_1 S_1$, где $p = \rho gh$ — гидростатическое давление на дно, $S_1 = a^2$ — площадь дна. Тогда

$$F_{\text{дно}} = \rho g h a^2. \tag{1}$$

Для того чтобы определить силу давления на боковую стенку, используем формулу $F_2 = p_{\text{ср.}} S_2$, где $S_2 = ah$ — площадь боковой стенки, находящейся ниже уровня воды. Давление воды растет с глубиной по линейному закону (рис. 4.22). Это следует из формулы $p = \rho gh$,

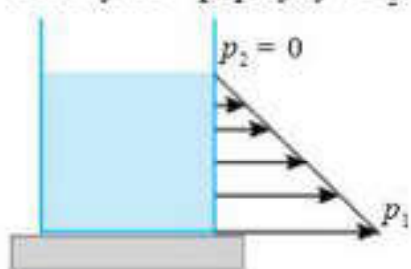


Рис. 4.22

где ρ — плотность воды и $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ — это постоянные величины. Тогда величину среднего давления можно найти как среднее арифметическое двух давлений: первого —

на поверхности воды (оно равно нулю) и второго — на дне $p = \rho gh$:

$$p_{\text{ср}} = \frac{0 + \rho gh}{2} = \frac{\rho gh}{2}. \text{ Сила давления воды на одну боковую стенку}$$

будет равна $F_2 = p_{\text{ср}} \cdot S_2 = \frac{\rho gh}{2} ah$.

Но так как боковых стенок четыре, то полная сила давления воды на боковую поверхность сосуда равна $F_{\text{бок}} = 4F_2$, или

$$F_{\text{бок}} = 4F_2 = 2\rho gh^2 a. \quad (2)$$

а) По условию задачи

$$F_{\text{дно}} = 5F_{\text{бок}}. \quad (3)$$

Тогда, подставив (1) и (2) в (3), получим:

$$\rho gha^2 = 5 \cdot 2\rho gh^2 a.$$

б) Отсюда имеем, что $a = 10h$, т. е. $h = \frac{a}{10}$.

Понятно, что во втором случае $F_{\text{дно}} = F_{\text{бок}}$. Приравняв давления воды на дно и боковую поверхность, получим:

$$\rho gha^2 = 2\rho gh^2 a.$$

Отсюда и другая высота воды в сосуде:

$$h = \frac{a}{2}.$$

Подумайте, почему такие на первый взгляд странные ответы. Ведь чем выше уровень воды, тем больше давление жидкости на дно, а следовательно, и сила давления.

$$\text{Ответ : а) } h = \frac{a}{10}; \text{ б) } h = \frac{a}{2}.$$

Задача 7. Малый поршень гидравлического пресса площадью 2 см^2 под действием силы 200 Н опустился на 16 см . Площадь большого поршня 8 см^2 . Определите: а) вес груза, поднятого поршнем; б) на какую высоту был поднят груз.

Дано:

$$S_1 = 2 \text{ см}^2$$

$$S_2 = 8 \text{ см}^2$$

$$h_1 = 16 \text{ см}$$

$$F_1 = 200 \text{ Н}$$

$$P \text{ — ? } h_2 \text{ — ?}$$

Решение. Эту задачу удобнее решать, не переводя данные в СИ. Напоминаем, что гидравлический пресс представляет собой систему из двух сообщающихся сосудов, заполненных, как правило, техническим маслом или водой, закрытых сверху подвижными поршнями (рис. 4.23).

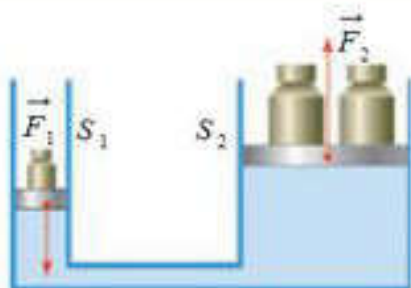


Рис. 4.23

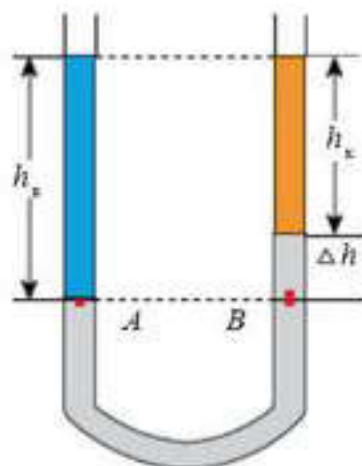


Рис. 4.24

Действуя на малый поршень силой F_1 , мы оказываем давление на жидкость. Это давление, в соответствии с законом Паскаля, передается жидкостью большому поршню.

Тогда можно записать, что $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$. Отсюда $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$. Это соотношение показывает, что гидравлический пресс дает выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз проигрываем в площади. Необходимо помнить, что при расчетах силы трения между поршнями и стенками цилиндров отсутствуют. В нашей задаче вес груза, который можно поднять этим прессом, как раз и равен силе F_2 , т. е.

$$P = F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1} = 200 \text{ Н} \frac{8 \text{ см}^2}{2 \text{ см}^2} = 800 \text{ Н}.$$

При перемещении малого поршня на расстояние h_1 большой поршень поднимется на некоторую высоту h_2 . Так как жидкости практически не сжимаемы, то объем “вдавленной” жидкости $V_1 = h_1 S_1$ будет равен объему “выдавленной” жидкости $V_2 = h_2 S_2$, т. е. $h_1 S_1 = h_2 S_2$. Отсюда имеем:

$$h_2 = h_1 \frac{S_1}{S_2} = 16 \text{ см} \frac{2 \text{ см}^2}{8 \text{ см}^2} = 4 \text{ см}.$$

Ответ : $P = 800 \text{ Н}$, $h_2 = 4 \text{ см}$.

Задача 8. В U-образной трубке находится ртуть, вода и керосин (рис. 4.24). Определите высоту столбов воды и керосина, если в правом колене трубки уровень ртути на 1 см выше, чем в левом.

Дано:

$$\Delta h = 1 \text{ см}$$

$$\rho_{рт} = 13,6 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_в = 1 \text{ г/см}^3$$

$$\rho_к = 0,8 \text{ г/см}^3$$

$$h_к = ? \quad h_в = ?$$

Решение. Вычисления удобнее производить не в СИ. Пусть высота столба керосина $h_к$. Тогда высота столба воды будет равна $h_в = h_к + \Delta h$.

Гидростатическое давление в точках А и В (рис. 4.24) одинаковое (уровень один и тот же), т. е. $p_в = p_к + p_{рт}$, или $\rho_в g(h_к + \Delta h) = \rho_к g h_к + \rho_{рт} g \Delta h$.

Отсюда находим высоту столба керосина: $h_x = \frac{\rho_{\text{рт}} - \rho_x}{\rho_x - \rho_x} \Delta h$.

Произведем вычисления: $h_x = \frac{13,6 - 1}{1 - 0,8} \cdot 1 \text{ см} = 63 \text{ см}$.

Ответ : $h_x = 63 \text{ см}$.



1 Для всех трех случаев, изображенных на рис. 4.25, сравните давление жидкости на кран слева и справа. Будет ли жидкость переливаться из одного сосуда в другой?

2 Объясните по рис. 4.26 принцип действия гидравлического тормоза.

3 Чтобы поднять с помощью гидравлической машины контейнер весом 1,5 кН, к меньшему поршню прикладывают силу 100 Н. Какова площадь меньшего поршня, если площадь большего равна 450 см²?

4 В мензурку налили ртуть, воду и керосин. Определите давление на дно, если общая высота жидкостей равна 64 см. Рассмотрите случай, когда массы и высоты жидкостей одинаковы.

5 Шар, на $\frac{1}{3}$ объема погруженный в воду, лежит на дне сосуда и давит на дно с силой, равной половине действующей на него силы тяжести. Найдите плотность шара. Плотность воды 1 г/см³. (0,7 г/см³)



Рис. 4.25

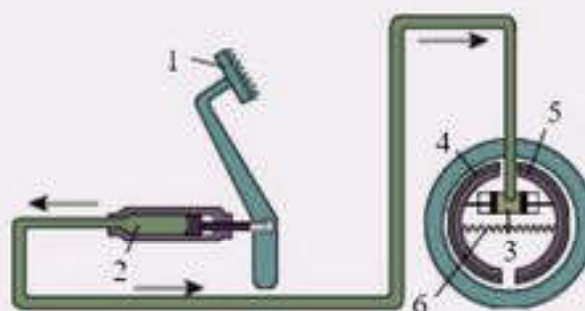


Рис. 4.26

6 Однородный шарик массой $m = 100 \text{ г}$ лежит на дне сосуда. В сосуд наливают жидкость так, что объем погруженной в нее части шарика в 4 раза меньше его объема. Плотность жидкости в 2 раза больше плотности шарика. С какой силой шарик давит на дно сосуда? (0,49 Н)

§ 27. Атмосферное давление



Ключевые слова:

- ✓ атмосферное давление
- ✓ нормальное атмосферное давление

На этом уроке вы:

- научитесь объяснять природу атмосферного давления;
- выясните единицы атмосферного давления.



Все вы знаете, что на Земле есть суша, водное и воздушное пространство. Люди и животные, перемещающиеся по суше, а также здания и сооружения оказывают давление на поверхность Земли. Причем давление это передается в направлении действия силы тяжести, т.е. по направлению к центру Земли.

Земля окружена воздушной оболочкой, называемой *атмосферой*. Возникает вопрос: оказывает ли давление воздух на поверхность Земли? Проведем следующий опыт.

Опыт 1. Возьмем стеклянную колбу емкостью 1 л с резиновой трубкой с зажимом. Колбу герметично закроем пробкой. Накачаем насосом воздух в колбу и взвесим ее (рис. 4.27). Затем откачаем воздух из колбы и снова ее взвесим. Мы обнаружим, что равновесие весов нарушится и гиря немного перевесит. Значит, воздух имеет массу. Масса 1 л воздуха приблизительно равна 1,3 г. Это означает, что на воздух действует сила тяжести и он оказывает давление на поверхность Земли, в частности на дно сосуда. Наш опыт позволяет утверждать, что воздух оказывает давление.

В отличие от давления, создаваемого твердыми телами, давление столба воздуха в соответствии с законом Паскаля передается по всем направлениям одинаково.

В существовании атмосферного давления можно убедиться и на следующем опыте.

Опыт 2. Поместим на тарелку воздушного насоса завязанный воздушный шарик. Накроем тарелку стеклянным колоколом (рис. 4.28)



Рис. 4.27

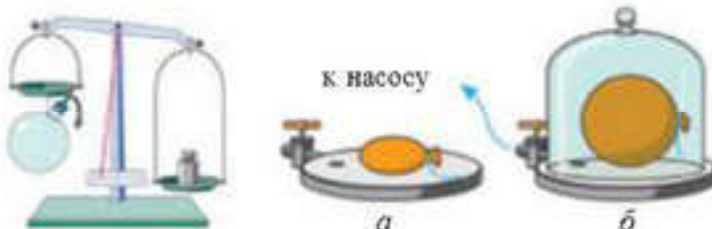


Рис. 4.28

и начнем из-под него откачивать воздух. По мере уменьшения давления под колоколом будет наблюдаться раздувание воздушного шарика. Это говорит о том, что давление в шарике, изначально равное атмосферному, стало преобладать над давлением под колоколом.

Атмосферным давлением называется давление воздушной оболочки Земли на ее поверхность и находящиеся на ней тела.

В 1654 г. немецкий физик Отто фон Герике в г. Магдебург проделал опыт, поразивший его современников. Два больших стальных полушария он плотно прижал друг к другу и выкачал из них воздух. Разорвать их не смогли даже несколько пар лошадей, которые тянули полушария в разные стороны. настолько велика сила атмосферного давления. Этот факт в физике называют "магдебургскими полушариями".



Численное значение атмосферного давления впервые было измерено итальянским физиком Эванжелистом Торричелли (1608—1647) в 1643 г. По поручению своего учителя Г. Галилея он проделал следующий опыт. Взял стеклянную трубку длиной 1 м, запаивая с одного конца, и наполнил ее ртутью. Закрыв открытый конец трубки, он перевернул ее и опустил открытым концом в чашу, заполненную ртутью. Часть ртути из трубки вылилась в чашу (рис. 4.29).

Оставшийся в трубке столб ртути имел высоту около 760 мм. Это объясняется тем, что давление столба ртути в трубке высотой 760 мм компенсируется давлением атмосферы, производимой на поверхность ртути, находящейся в чаше.

Если трубки наклонять, то высота ртутного столба останется такой же (рис. 4.30).

Благодаря опыту Торричелли в физике была введена внесистемная единица измерения давления — мм. рт. ст.

$$1 \text{ мм. рт. ст.} = 133 \text{ Па.}$$

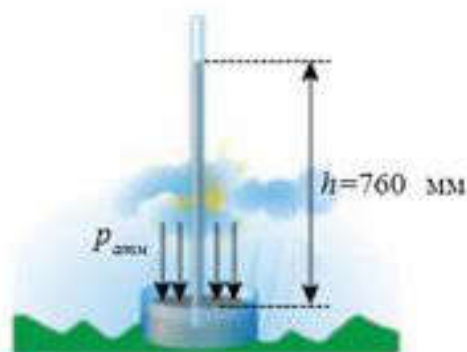


Рис. 4.29

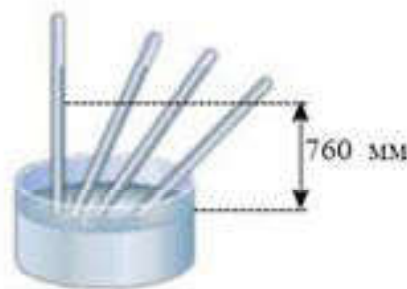


Рис. 4.30



Докажем сами!

Используя формулу гидростатического давления, докажите, что атмосферное давление на поверхности ртути в трубке высотой 1 мм равно 133 Па.

Плотность ртути $\rho = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

В атмосфере Земли постоянно происходят различные процессы: движение воздушных масс, выпадение осадков, нагревание и охлаждение воздуха за счет солнечной энергии. Эти процессы приводят к тому, что атмосферное давление в данной местности непрерывно изменяется.

Атмосферное давление, равное давлению столба ртути высотой 760 мм, называется нормальным атмосферным давлением.

Атмосферное давление зависит не только от температуры воздуха, но и от высоты местности. Это было установлено Б. Паскалем в 1647 г. Используя ртутный барометр, он измерил атмосферное давление у подножия горы и на ее вершине. Паскаль установил, что на небольших высотах атмосферное давление уменьшается.



Обратите внимание!

Атмосферное давление на каждые 12 м подъема опускается примерно на 1 мм. рт. ст. Этот факт объясняется тем, что вес столба атмосферного воздуха, находящегося над этим местом, уменьшается.



1. Какое давление называется "атмосферным" и почему оно возникает?
2. Каким образом можно доказать существование атмосферного давления?
3. Какая физическая величина измеряется в 1 мм. рт. ст.?
4. Какое давление называют "нормальным атмосферным давлением"?
5. От каких величин зависит атмосферное давление?
6. Одинаково ли атмосферное давление на первом и последнем этажах небоскреба?



1 Почему вода из опрокинутой бутылки выливается рывками, с бульканьем, а из резиновой медицинской грелки вытекает ровной сплошной струей?

2 Прodelайте простой опыт. Возьмите стакан с водой, накройте его листом тетрадной бумаги и, придерживая лист рукой, переверните его (рис. 4.31). Вода из стакана выливаться не будет. Объясните результат этого опыта.

3 Объясните результат опыта: монету вытащили из воды с помощью стакана, в котором подожгли спички (рис. 4.32).

4 Что произойдет, если на разных высотах в трубке Торричелли просверлить отверстия небольшого диаметра?



Рис. 4.31



Рис. 4.32

§ 28. Измерение атмосферного давления

На этом уроке вы:

- узнаете, какими приборами измеряют атмосферное давление;
- научитесь объяснять принцип действия барометров.



Ключевые слова:

- ✓ барометр ртутный
- ✓ барометр-анероид



Мы с вами живем на дне воздушного океана, и наш организм автоматически уравнивает атмосферное давление. Но у многих людей организм чутко реагирует на колебания атмосферного давления, особенно если оно меняется значительно. Тогда возникает ряд болезненных ощущений: головная боль, головокружение, учащенное дыхание, кровотечение из ушей и носа. Альпинисты, поднимающиеся высоко в горы, часто пользуются специальными кислородными масками, поддерживающими нормальное содержание кислорода в воздухе.

Как же измерить атмосферное давление, если оно постоянно меняется? Для этого существуют определенные приборы, которые называются **барометрами**.

Ртутный барометр. Простейшим барометром является ртутный барометр, созданный на основе трубки Торричелли (рис. 4.33).

На свободную поверхность ртути в сосуде (1) действует атмосферное давление, которое компенсируется давлением столба ртути в трубке (2). По высоте столба ртути в трубке судят об атмосферном давлении по шкале (3). С изменением атмосферного давления будет меняться и высота столба ртути в трубке (2). Ртутный барометр измеряет атмосферное давление на данный момент времени. Ртутным барометром удобно пользоваться в стационарных условиях, а в полевых он неудобен. В этих случаях пользуются барометром-анероидом.



Рис. 4.33

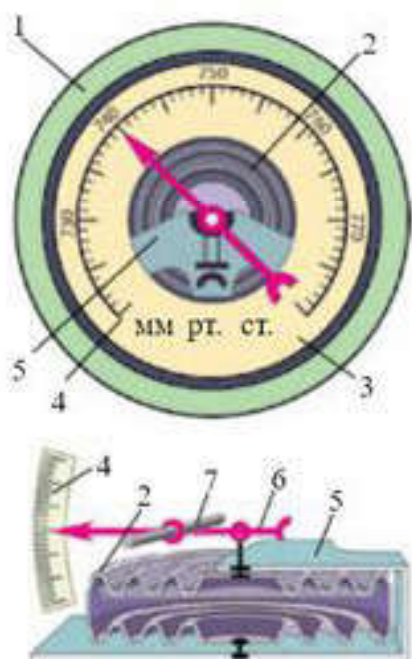


Рис. 4.34

Барометр-анероид. Принцип действия барометра-анероида такой же, как у мембранного манометра. Устройство барометра-анероида показано на рис. 4.34.

1 — корпус барометра, 2 — металлическая коробочка с волнистой (гофрированной) поверхностью, из которой выкачан воздух; 3 — стекло, 4 — шкала давлений, проградуированная с помощью ртутного барометра; 5 — металлическая пластина, которая не дает атмосферному давлению сплющить коробку (1); 3 — передаточный механизм, к которому прикреплена пружина (4); 6 — стрелка-указатель на оси; 7 — ось.

Атмосферное давление действует на гофрированную коробочку с силой. Волнистая поверхность увеличивает ее площадь, что ведет к повышению силы давления на поверхность коробочки. С понижением атмосферного давления сила давления на поверхность коробочки уменьшается. Поэтому пластина (5) будет выпрямлять крышку коробочки, что ведет к повороту оси (7) со стрелкой-указателем (6). Показания барометра снимаются по шкале (4). Увеличение атмосферного давления приводит движение механизма в обратном направлении.

С помощью барометра можно измерять высоту подъема летательного аппарата в атмосфере. Барометры, шкала которых проградуирована не в мм рт. ст., а в единицах высоты подъема, называются **альтиметрами**.



1. Как называются приборы для измерения атмосферного давления?
2. Как устроен и как работает ртутный барометр?
3. Как устроен и как работает барометр-анероид?
4. Можно ли измерить давление воздуха в кабине космического корабля ртутным барометром? Барометром-анероидом?

§ 29. Манометры. Насосы

На этом уроке вы:

- узнаете, какую физическую величину измеряют манометром;
- узнаете назначение и принцип действия манометров и нагнетательных насосов.



Ключевые слова:

- ✓ манометр
- ✓ нагнетательный насос



Рис. 4.35

Во всех сферах деятельности человека часто встречаются процессы, происходящие в условиях давления, которое больше или меньше атмосферного.

Поэтому на практике возникает необходимость контролировать разность давлений. Для этих целей используются приборы, называемые **манометрами** (произошло от двух греч. слов: *манос* — “неплотный”, *метрео* — “измеряю”). Существуют различные типы манометров. Рассмотрим подробнее два из них.

Жидкостный манометр. Принято считать, что первые жидкостные манометры были созданы в 1643 г. итальянским ученым Торричелли. Устройство этого манометра показано на рис. 4.35.

На плоской вертикальной панели укрепляется U-образная трубка, которая заполняется жидкостью (водой или ртутью). Оба колена трубки открыты, поэтому жидкость в них устанавливается на одном уровне. Одно колено трубки соединяют с помощью резинового шланга с сосудом, в котором необходимо измерить давление, а другое оставляют открытым. Жидкостный манометр покажет, на сколько давление в сосуде больше или меньше атмосферного.

Трубчатый металлический манометр. Его изобрел в 1848 г. французский ученый Э.Бурдон (рис. 4.36). Основные составные части: согнутая в дугу полая трубка (1), стрелка (2), зубчатка (3), кран (4), рычаг (5) (рис. 4.37).



Рис. 4.36

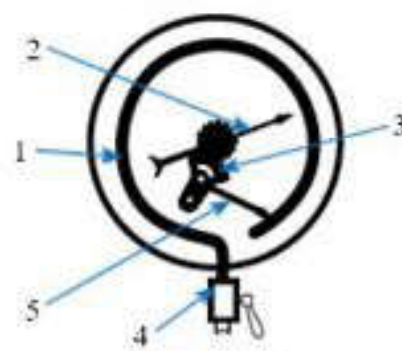


Рис. 4.37

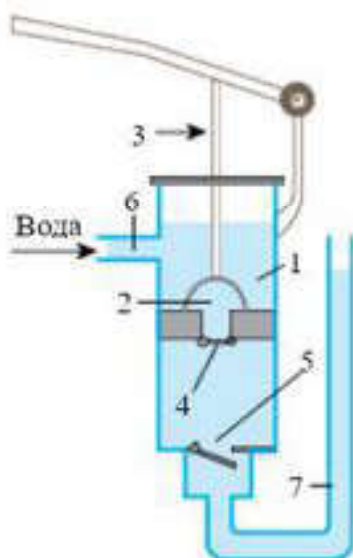


Рис. 4.38

Один конец трубки запаян. Другой конец трубки с помощью крана соединяется с сосудом, в котором необходимо измерить давление. Если давление начнет увеличиваться, трубка будет разгибаться, воздействуя при этом на рычаг. Через зубчатку рычаг связан со стрелкой, поэтому при увеличении давления стрелка будет отклоняться, указывая давление. Если же давление будет уменьшаться, то трубка будет сгибаться, а стрелка двигаться в обратном направлении.

Насосы. В населенных пунктах для подвода воды в здания строят специальные водонапорные башни. А для того чтобы заполнить емкость в башне водой, необходимо устройство, которое нагнетало бы воду в нее. Эти устройства называются **нагнетательными насосами**. Ими качают воду из подземных горизонтов, если воды залегают не ниже 8 м. Упрощенный вид нагнетательного насоса приведен на рис. 4.38.

1 — цилиндр; 2 — поршень в цилиндре с отверстием в центральной части; 3 — шток, соединяющий вал двигателя с поршнем; 4 и 5 — клапаны Герона, пропускающие воду только в одну сторону; 6 — труба, по которой вода подается в насос; 7 — труба, по которой вода нагнетается насосом в резервуар.

При движении штока (3) вниз клапан (4) закрывается, а клапан (5) открывается, что позволяет поршню нагнетать воду по трубе (7) в верхний резервуар. Одновременно с ходом поршня вниз по трубе (6) вода поступает в верхнюю часть цилиндра (1), находящуюся над поршнем. При движении поршня вверх закрывается клапан (5) и открывается клапан (4), что позволяет воде из верхней части цилиндра (1) проходить в нижнюю часть цилиндра (1) и т. д.

Знаете ли вы?

В городской водопроводной сети давление холодной воды может быть в 5 раз больше, а горячей воды — в 10 раз больше атмосферного давления.

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





1. Как устроен и как работает жидкостный манометр?
2. Как работает металлический манометр?
3. Как устроен и как работает нагнетательный насос?
4. Почему нагнетательный насос не может поднять воду на высоту более 10 м?



■ Попробуйте самостоятельно спроектировать ручной насос для подъема подземных вод на поверхность. Рассчитайте, с какой максимальной глубины можно поднять воду с помощью ручного насоса.



1 Открытые жидкостные манометры соединены с сосудами А, В и С (рис. 4.39). В каком сосуде давление равно атмосферному, в каком оно больше атмосферного, а в каком меньше?

2 Можно ли уравновесить нормальное атмосферное давление давлением столба керосина высотой 8 м? (Нет)

3 На рис. 4.40, а, б показаны сифон для газированной воды и насос для накачивания велосипедных камер. Спроектируйте схему и объясните принцип их действия.

4 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 водяных насосов?

5 На какую высоту можно поднять спирт с помощью всасывающих насосов с воздушной камерой? А нефть?

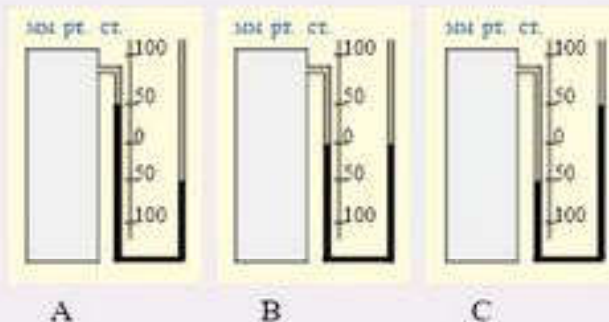


Рис. 4.39



Рис. 4.40

§ 30. Сила Архимеда



На этом уроке вы:

- узнаете причину возникновения выталкивающей силы;
- научитесь применять закон Архимеда при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ выталкивающая сила
- ✓ закон Архимеда



Архимед
(287—212 гг. до н. э.)

Выдающийся древнегреческий ученый. Известен как автор закона, описывающего плавание тел, и открытием выталкивающей силы. Изобретатель машин для орошения полей, рычагов, блоков и винтов для подъема больших грузов. Созданные им военные метательные машины помогали при защите его родного города Сиракузы от нападений римлян.

Выясним, действуют ли жидкости и газы на погруженное в них тело. Для этого проведем опыт.

Нальем в три сосуда разные жидкости: керосин, воду и глицерин. Возьмем стальной цилиндр массой 200 г и определим его вес в воздухе с помощью динамометра. В данном случае динамометр покажет, что вес цилиндра равен 2 Н. Затем по очереди, полностью погружая цилиндр, подвешенный к динамометру, в керосин, воду и глицерин, обнаружим, что показания динамометра уменьшаются, но не одинаково. Больше всего это уменьшение будет в глицерине, затем в воде и потом в керосине. Если повторить эти же опыты, но с медным или алюминиевым цилиндрами, то снова обнаружим уменьшение веса этих цилиндров в жидкостях. Значит, на любое тело, погруженное в любую жидкость, действует сила, направленная противоположно силе тяжести, т. е. вверх. Эта сила называется **выталкивающей силой**. По результатам опытов можно сделать следующий вывод: **чем больше плотность жидкости, тем больше выталкивающая сила**.

Для того чтобы разобраться в природе выталкивающей силы, рассмотрим, что происходит с цилиндром в жидкости. На него со всех сторон действуют силы давления жидкости (рис. 4.41).

Силы давления на боковую поверхность цилиндра будут попарно компенсировать друг

друга. Силы давления на верхнюю и нижнюю поверхности будут разными, так как высота столба жидкости над ними будет различной.

Выведем формулу для расчета выталкивающей силы. Найдем ее как разность двух сил давления: первая — это сила давления, действующая со стороны жидкости на верхнюю поверхность цилиндра F_1 (направлена вниз), и вторая — это сила давления, действующая со стороны жидкости на нижнюю поверхность цилиндра F_2 (направлена вверх). Нам известно, что сила давления находится по формуле $F = pS$, а давление $p = \rho_x gh$, где ρ_x — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, h — высота столба жидкости. Тогда сила давления столба жидкости будет равна: $F = pS = \rho_x ghS$.

Сила давления столба жидкости на верхнюю поверхность цилиндра будет равна: $F_1 = p_1 S = \rho gh_1 S$, где h_1 — высота столба жидкости над верхней поверхностью цилиндра. Сила давления столба жидкости на нижнюю поверхность цилиндра будет равна:

$$F_2 = p_2 S = \rho gh_2 \cdot S,$$

где h_2 — высота столба жидкости от ее поверхности до нижней поверхности цилиндра.

Выталкивающая сила будет равна их разности, т.е. $F_{\text{выт.}} = F_2 - F_1$.

Подставив в эту формулу значения сил F_2 и F_1 , получим:

$$F_{\text{выт.}} = \rho_x gS(h_2 - h_1).$$

Так как $h_2 - h_1 = H$, где H — высота цилиндра, то $F_{\text{выт.}} = \rho_x ghS$. Поскольку $SH = V$ является объемом цилиндра, то выталкивающая сила будет равна:

$$F_{\text{выт.}} = \rho_x gV. \quad (30.1)$$

Мы вывели формулу для нахождения выталкивающей силы.

Таким образом, на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу жидкости в объеме его погруженной части.

Этот закон называют **законом Архимеда** в честь древнегреческого ученого Архимеда, открывшего его. Выталкивающую силу также называют **архимедовой силой** и обозначают часто F_A .

Если в жидкость погружена часть тела, то в формуле выталкивающей силы V — объем той части тела, которая погружена в жидкость.

В воздухе, а также в любом другом газе на тело действует выталкивающая сила, но в газах она намного меньше веса тела. Возникающая в жидкостях выталкивающая сила достаточно велика, и пренебрегать ею нельзя.

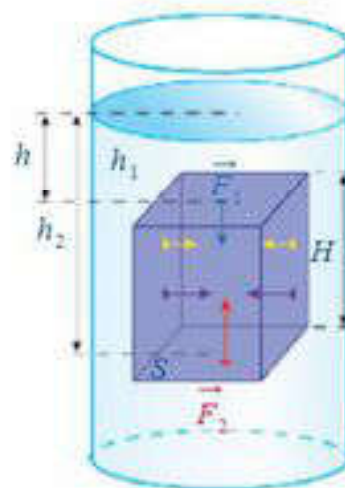


Рис. 4.41



Это интересно!

Айсберги — огромные “плавучие ледяные горы”. Высота надводной части айсберга нередко достигает 50—70 м, а иногда приближается к 400 м. Под водой находится 9/10 объема айсберга, т.е. подводная часть может достигать 3,6 км. Айсберг, перемещаясь в более теплые воды, оплавляется снизу, из-за чего центр тяжести поднимается вверх. Равновесие нарушается, и айсберг с шумом переворачивается. Именно поэтому в свое время потерпел крушение крупнейший морской теплоход “Титаник”.

Живущий в тропических морях моллюск наутилус живет в закрученной спиралью раковине. Меняя объем внутренних полостей в своем организме, моллюск может быстро всплывать и погружаться.



1. Почему тело, находящееся в жидкости, легче этого же тела в воздухе?
2. Какая сила называется “выталкивающей”?
3. Как доказать существование выталкивающей (архимедовой) силы?
4. Что является причиной возникновения выталкивающей силы?
5. От каких величин зависит выталкивающая сила?
6. Как рассчитать величину выталкивающей силы? Какое значение объема тела следует подставлять в формулу при вычислении архимедовой силы?
7. Почему выталкивающую силу называют “силой Архимеда”?



1. Придумайте и проделайте опыт, доказывающий существование архимедовой силы.
2. Придумайте и поставьте опыт, позволяющий измерить архимедову силу.



1. Изменится ли сила Архимеда, действующая на тело, если его переместить на Луну?
2. Действует ли сила Архимеда в вакууме? А в невесомости?
3. Медный шар в воздухе весит 36,9 Н, а при полном погружении в воду его вес становится равным 26,7 Н. Сплошной этот шар или полый? Если полый, то каков объем полости? (полый, $V_p = 0,6$ л)
4. Айсберг плавает в океане. Как известно, нашему взору предстает только 1/10 часть всего айсберга, а 9/10 его объема скрыто под водой. Если же в воде будет плавать сосновое полено, то оно будет погружено в воду примерно до половины. Почему же вода скрывает от нас только половину полена, а айсберг почти целиком?

§ 31. Условия плавания тел

На этом уроке вы:

- узнаете об условиях плавания тел;
- усвоите, на чем основано плавание судов, воздухоплавание;
- научитесь определять архимедову силу при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ взвешенное состояние
- ✓ осадка
- ✓ ватерлиния
- ✓ подъемная сила

В предыдущем параграфе вы узнали, что на любое тело, погруженное в жидкость, действует сила Архимеда. Но кроме этой силы на тело действует и сила тяжести. Сила Архимеда направлена вверх и зависит от плотности жидкости, в которую помещено тело, и от объема части тела, находящейся в жидкости. Сила тяжести направлена вниз и зависит от массы тела.

Наблюдая за телами, погруженными в жидкость, мы обнаруживаем, что некоторые из них тонут в жидкости, а другие плавают в ней, либо полностью погружившись в нее, либо частично. Понятно, что поведение тела будет зависеть от соотношения силы тяжести и архимедовой силы. На рис. 4.42 изображен мяч, плавающий на поверхности воды.

Мяч находится в равновесии (он покоится), значит

$$F_A = mg. \quad (31.1)$$

На рис. 4.43 изображена подводная лодка, находящаяся в покое внутри жидкости. Про такие тела говорят, что они находятся во **взвешенном состоянии**. И в этом случае сила тяжести тела равна силе Архимеда, т.е. $F_A = mg$.

Рассмотрим формулу (31.1) более подробно. Так как сила Архимеда равна $F_A = \rho_x g V$, а массу тела можно найти через плотность



Рис. 4.42



Рис. 4.43

$m = \rho V$, то формула (31.1) запишется так: $\rho_x g V_x = \rho g V$. Отсюда следует:

$$\frac{\rho}{\rho_x} = \frac{V_x}{V}. \quad (31.2)$$

Так как при плавании объем жидкости, вытесненный телом V_x , всегда меньше или равен объему самого тела V , то плотность плавающего тела должна быть меньше или, в крайнем случае, равна плотности жидкости, в которой плавает тело, т. е. $\rho_x \leq \rho$. Отсюда можно сделать выводы:

Условия плавания тел			
1	$\rho < \rho_x$	$F_A > mg$	Тело плавает на поверхности жидкости
2	$\rho = \rho_x$	$F_A = mg$	Тело плавает внутри жидкости
3	$\rho > \rho_x$	$F_A < mg$	Тело тонет
ρ — плотность жидкости; ρ_x — плотность тела; F_A — архимедова сила; mg — сила тяжести			



Как же в океанах и морях плавают корабли, корпуса которых изготовлены из стали?

Внутренняя часть судов представляет собой большое число отсеков, разделенных открытыми перегородками. Суда конструируют так, чтобы их средняя плотность всегда была меньше плотности воды. Если вычислить среднюю плотность корабля, разделив массу на весь его объем, то получим значение, значительно меньшее плотности воды. Соответственно судно плавает в воде, если действующая на него сила тяжести (или вес судна с грузом в воздухе) равна весу воды, вытесненной подводной частью судна (рис. 4.44).

Глубина, на которую судно погружается в воду, называется *осадкой*. Наибольшая допускаемая осадка судна отмечается линией, называемой *ватерлинией*. Она показывает предельный уровень, до которого может погрузиться судно в воду при его загрузке. Ватерлиния отмечена на корпусе корабля красным цветом.



Рис. 4.44

Особый вид морского судна представляет *подводная лодка* (см. рис. 4.43). Она устроена так, что ее среднюю плотность можно изменять, заполняя специальные балластные отсеки водой или воздухом. В данном случае ее средняя плотность увеличится, что приведет к погружению лодки. Во время всплытия подводной лодки мощные насосы нагнетают воздух в отсеки с водой и вытесняют ее.

Тогда средняя плотность лодки уменьшается (рис. 4.45).

Воздухоплавание. Воздухоплавание тоже основано на законах Архимеда и Паскаля.

С помощью воздушных шаров осуществляют подъем грузов, людей, оборудования. Для того чтобы знать, какой груз может поднять данный шар, необходимо знать его подъемную силу.

Вес груза, который может поднять воздушный шар, называют его *подъемной силой*.

Величину подъемной силы находят как разность между силой Архимеда, действующей на шар, и силой тяжести оболочки шара и газа, заполняющего шар:

$$F_{\pi} = F_A - (m_{\text{с}} + m_{\text{газ}})g. \quad (31.3)$$

Воздушные шары, поднимающиеся на небольшую высоту, называются *аэростатами*, а на высоту более 11 км — *стратостатами*. Аэростаты и стратостаты используются для исследования атмосферы (рис. 4.46).

Летательные аппараты, которыми можно управлять с помощью двигателей и пропеллеров, называются *дирижаблями*. Дирижабли были созданы в начале XX в. Они имеют удлиненную обтекаемую форму для того, чтобы уменьшить сопротивление воздуха при их движении.

АЭРОСТАТЫ

Воздушные шары, поднимающиеся на небольшую высоту

ДИРИЖАБЛИ

Управляемые воздушные шары

СТРАТОСТАТЫ

Воздушные шары, поднимающиеся на высоту более 11 км



Рис. 4.45



Рис. 4.46



Это интересно!

Запуск первого воздушного шара был произведен летом 1783 г. во Франции. Это сделали бумажные фабриканты братья Жозеф и Этьен Монгольфье, которые изготовили большой бумажный шар и заполнили его горячим воздухом. Горячий воздух имеет меньшую плотность, чем окружающий его холодный, и поэтому шар поднимается. Этот шар поднялся на высоту 500 м и находился в полете 10 минут, пролетев при этом 2 км (рис. 4.47). Такие шары с того времени стали называться *монгольфьерами*.



Рис. 4.47

1 декабря 1783 г. на своем "шарльере" поднялся в воздух Жак-Александр-Сезар Шарль. Он вместо нагретого воздуха применил водород, плотность которого примерно в 14 раз меньше плотности атмосферного воздуха. Позднее воздушные шары стали наполнять светильным газом.

Для наблюдения солнечного затмения в 1887 г. на воздушном шаре, наполненном гелием, полет совершил Д. И. Менделеев.

Современные воздушные шары наполняют гелием.



Для измерения плотности жидкостей используют прибор, который называется "ареометром". Ареометр состоит из стеклянной трубки, на дно которой помещена металлическая дробь. Сверху трубка переходит в тонкий трубчатый стержень с градуированной шкалой плотности. В таком виде ареометр может плавать в жидкости в вертикальном положении.

Когда ареометр опускают в жидкость, плотность которой надо измерить, его стеклянная колбочка погружается на определенную глубину до тех пор, пока архимедова сила не уравновесит силу тяжести.



1. Сформулируйте условия плавания тел.
2. Чему равна выталкивающая сила, действующая на плавающие внутри жидкости тела?
3. Всплывет ли деревянный кубик, плотно прижатый к гладкому дну сосуда, после того, как в него медленно налить воду?
4. На чем основано плавание судов?
5. Какая сила называется "подъемной"?
6. Какая линия называется "ватерлинией"?



Изготовим сами!

Ареометр. Используя пробирку и песок, изготовьте ареометр. Произведите ее градуировку в чистой воде. Затем, применяя этот ареометр, определите плотность растворов соли и сахара.



- 1** Возьмите стеклянную банку, стакан с водой, сырое яйцо и 2—3 столовые ложки соли. Налейте в банку 0,5 л воды и растворите в ней 2 столовые ложки соли. Опустите в воду яйцо. Оно должно плавать у поверхности. Понемногу наливайте обычную воду. Яйцо начнет погружаться и окажется во взвешенном состоянии. Продолжая доливать воду, добейтесь того, чтобы яйцо опустилось на дно. Объясните наблюдаемые явления.
- 2** Будет ли плавать яйцо, сваренное вкрутую: а) в обычной воде; б) в соленой воде? Проверьте на опыте. Объясните результаты опыта.
- 3** В стакан с газированной водой бросьте виноградину. Она чуть тяжелее воды и опустится на дно, покрываясь пузырьками газа. Когда их станет довольно много, виноградина всплывет. На поверхности пузырьки лопнут, газ улетучится, а отяжелевшая виноградина снова опустится на дно. Так будет продолжаться до тех пор, пока газировка не “выдохнется”. Объясните опыт.



Изготовим сами!

“Картезианский водолаз”. Сконструировать “Картезианского водолаза”, пользуясь пластиковой бутылкой или литровой банкой с пластмассовой крышкой. Поплавок изготовьте из обычного прозрачного пузырька, например из-под пенциллина, наполнив его водой более чем на 1/3 объема. В пробке пузырька сделайте шилом отверстие и в него плотно вставьте трубочку длиной 10—15 мм, например от стержня шариковой ручки. После наполнения банки водой опустите в нее поплавок. При нажатии на крышку бутылки или банки поплавок опускается. Проследите за объемом воды в поплавке при его погружении и подъеме. Такая замечательная игрушка “Картезианский водолаз” придумана французским математиком, физиком и философом Рене Декартом.

Примеры решения задач

Задача 1. Один и тот же деревянный брусок плавает по очереди в трех сосудах, в которых налита ртуть, вода и керосин. Сравните архимедовы силы, действующие на брусок в этих трех случаях.

Решение. Брусок плавает, следовательно, находится в равновесии. Это возможно только тогда, когда сила Архимеда равна силе тяжести. Но брусок один, значит, на него действует одна и та же сила тяжести. Тогда и сила Архимеда во всех случаях одинаковая: $F_{A1} = F_{A2} = F_{A3} = mg$.

Единственное отличие будет в разной глубине погружения бруска в различных жидкостях. Предлагаем вам самостоятельно определить, в какую жидкость брусок погрузится глубже всего.

Задача 2. Льдинка с замороженной в нее пробкой плавает в стакане с водой при температуре 0°C . Как изменится уровень воды в стакане, если лед растает, а температура останется прежней? Каков будет ответ, если вместо пробки внутри льда будет дробишка?

Решение. Пусть m — масса льда, а m_0 — масса тела, замороженного в лед. Тогда объем воды, который будет вытеснен ими, будет равен

$$V = \frac{m + m_0}{\rho},$$

где ρ — плотность воды.

Когда лед растает, он займет объем $V_{\text{л}} = \frac{m}{\rho}$.

Если плотность тела, замороженного в лед, меньше или равна плотности воды, то тело плавает в воде и вытесненный объем воды будет равен $V_0 = \frac{m_0}{\rho}$. Очевидно, что в этом случае

$$V = V_{\text{л}} + V_0 = \frac{m}{\rho} + \frac{m_0}{\rho} = \frac{m + m_0}{\rho}.$$

Уровень воды в стакане не изменится, так как не изменится объем, вытесненный льдом с замороженным в него телом.

Значит, если кусок льда сплошной, или в него заморожено тело с плотностью вещества меньшей, чем воды, или во льду есть пузырек воздуха, то после того, как лед растает, уровень воды в стакане не изменится.

Если плотность тела ρ_1 больше плотности воды, то тело, после того, как лед растает, тонет, вытесняя объем, равный собственному объему: $V_0 = \frac{m_0}{\rho_0}$. В этом случае $V_{\text{л}} + V_0 < V$, так как $\frac{m}{\rho} + \frac{m_0}{\rho_0} < \frac{m + m_0}{\rho}$.

Значит, во втором случае (внутри льда дробишка) уровень воды в стакане понизится.

Ответ: если в лед заморожена пробка, то после таяния льда уровень воды в стакане не изменится, а если заморожена дробишка, то уровень воды понизится.

Задача 3. Плоская льдина высотой H плавает в озере. Каковы высоты надводной и подводной части льдины?

Дано:
 $\rho_{\text{л}} = 0,9 \text{ г/см}^3$
 $\rho_{\text{в}} = 1 \text{ г/см}^3$
 H — высота льдины

 h_1 — ? h_2 — ?

Решение. Если лед плавает, то сила Архимеда равна силе тяжести, действующей на льдину, т. е.

$$\rho_{\text{в}} g V_2 = mg. \quad (1)$$

Пусть h_1 и h_2 , а V_1 и V_2 — высоты и объемы надводной и подводной части льдины соответственно. Изобразим на рис. 4.48 силы, действующие на льдину.

Из данного рисунка видно, что

$$h_1 + h_2 = H, \quad (2)$$

$$V_1 + V_2 = V. \quad (3)$$

Массу льдины выразим через плотность льда и его объем:

$$m = \rho V. \quad (4)$$

Подставив (4) в (1), получим

$$\rho_{\text{в}} g V_2 = \rho_{\text{л}} g V. \quad (5)$$

Если $V_2 = h_2 S$, а $V = HS$, то (5) переписывается так: $\rho_{\text{в}} g h_2 S = \rho_{\text{л}} g HS$. Отсюда высота подводной части равна

$$h_2 = \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} \cdot H. \quad (6)$$

Из (2) имеем $h_1 = H - h_2$, т. е.

$$h_1 = H - \frac{\rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} H = \frac{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{л}}}{\rho_{\text{в}}} \cdot H. \quad (7)$$

Подставив в формулы (6) и (7) численные значения плотностей льда и воды, получим

$$h_2 = \frac{9}{10} H \text{ и } h_1 = \frac{1}{10} \cdot H. \quad (8)$$

В данной задаче мы имели дело с плоской льдиной, но можно убедиться в том, что формулы (8) справедливы и для сплошного куска льда произвольной формы.

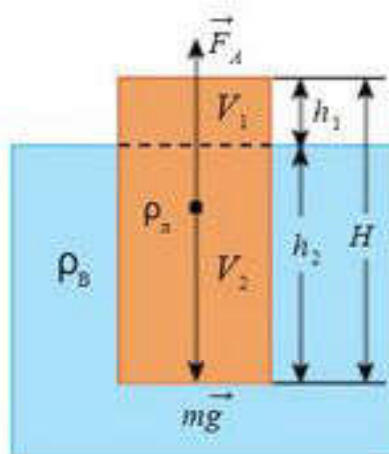


Рис. 4.48

Задача 4. Рассчитайте массу груза, которую можно поднять с помощью воздушного шара объемом 120 м^3 , заполненного гелием, если масса оболочки $21,2 \text{ кг}$.

Дано: $V = 120 \text{ м}^3$ $m_o = 21,2 \text{ кг}$ $m_r = ?$	Решение. Подъемная сила равна разности между архимедовой силой, действующей на шар, и силой тяжести оболочки шара и газа, заполняющего шар: $F_n = F_A - (m_o + m_r)g$. Масса гелия в оболочке равна $m_r = \rho_r V$.
--	--

Тогда сила тяжести, действующая на гелий и оболочку, будет равна: $F = (\rho_r V + m_o)g$. Если архимедова сила равна $F_A = \rho_a g V$, то $F_n = \rho_a g V - (\rho_r V + m_o)g$. Так как плотность воздуха $\rho_a = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; гелия $\rho_r = 0,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, рассчитаем величину подъемной силы шара:

$$F_n = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 120 \text{ м}^3 - (0,19 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 120 \text{ м}^3 + 21,2 \text{ кг}) \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 1517 \text{ Н} - 431,2 \text{ Н} = 1085,8 \text{ Н}.$$

Следовательно, масса груза, который может перенести шар, будет равна: $m = \frac{F_n}{g} = \frac{1085,8 \text{ Н}}{9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 110,8 \text{ кг}$.

Задача 5. Объем воздушного шарика, заполненного водородом, равен 4 дм^3 , а его вес $0,04 \text{ Н}$. Определите подъемную силу шарика.

Дано: $V = 4 \text{ дм}^3$ $P = 0,04 \text{ Н}$ $F_n = ?$	Решение. Подъемная сила рассчитывается по формуле: $F_n = F_A - P = \rho_a g V - P$. $F_n = 1,29 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,004 \text{ м}^3 - 0,04 \text{ Н} = 0,011 \text{ Н}$.
--	---

Ответ : $F_n = 11 \text{ мН}$.



1 Детский шарик объемом 3 л наполнен водородом. Масса шарика с водородом $3,4 \text{ г}$. Какова подъемная сила детского шарика? ($4,7 \text{ мН}$)

2 Груз какой массы может перенести аэростат объемом 1000 м^3 на высоту 40 км ? Аэростат заполнен гелием, плотность которого $0,18 \text{ кг/м}^3$, плотность воздуха на высоте $0,85 \text{ кг/м}^3$. ($6,7 \text{ т}$)

3 Оболочка аэростата, привязанного при помощи стального троса, весит 550 Н и вмещает 350 м^3 газа плотностью

$0,6 \text{ кг/м}^3$. Определите силу, достаточную для удержания аэростата за нижний конец троса, если вес троса равен 750 Н . ($1,1 \text{ кН}$)

4 Судно, погруженное в пресную воду до ватерлинии, вытесняет воду объемом $15\,000 \text{ м}^3$. Вес судна с машинами равен 50 мН . Каков вес груза? (105 кН)

5 Человек плавает в воде. Как изменится архимедова сила, действующая на человека при вдохе?



Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА АРХИМЕДА

Цель работы: научиться измерять архимедову силу, действующую на тела разной формы, погруженные в воду.

Оборудование: тела цилиндрической, кубической и неправильной формы с привязанными к ним нитями; мерный цилиндр (мензурка); динамометр; стакан с водой; линейка.

Задание 1.

Ход работы:

1. Измерьте объем тела цилиндрической формы, используя мензурку с водой.
2. Рассчитайте значение архимедовой силы F_A , действующей на тело (плотность воды 1000 кг/м^3). Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.

Таблица

№ опыта	Тело	Объем тела, $V, \text{ м}^3$	Архимедова сила, $F_A, \text{ Н}$	Сила тяжести, $F_{\text{тяж}}, \text{ Н}$	Сила упругости, $F_{\text{упр}}, \text{ Н}$	Архимедова сила, $F_A, \text{ Н}$
1	Цилиндрическое					
2	Кубическое					
3	Неправильной формы					

3. Подвесьте к динамометру на нити тело. Измерьте силу тяжести, действующую на него (вес тела в воздухе) (рис. 4.49).
4. Опустите тело в стакан с водой и измерьте силу упругости пружины (вес тела в воде).
5. Вычислите значение архимедовой силы: $F_A = F_{\text{тяж}} - F_{\text{упр}}$. Результаты запишите в таблицу.



Рис. 4.49

6. Определите архимедову силу, действующую на куб и на тело неправильной формы. Результаты запишите в таблицу.
7. Сравните значения архимедовой силы, полученные для каждого тела двумя способами.
8. Сделайте вывод.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

Цель работы: экспериментально установить, при каких условиях тело тонет, всплывает и плавает.

Проверьте следующие утверждения:

- а) если сила тяжести (mg) меньше максимальной архимедовой силы, то тело плавает, частично погрузившись в воду (рис. 4.50, а);
- б) если сила тяжести (mg) равна максимальной архимедовой силе, то тело плавает, полностью погрузившись в жидкость (рис. 4.50, б);
- в) если сила тяжести (mg) больше максимальной архимедовой силы, то тело тонет (рис. 4.50, в).

Оборудование: мензурка, весы, разновес, пробирка с пробкой, песок, стеклянная или деревянная палочка.

Задание 1.

Ход работы:

1. Измерьте объем пробирки, находящейся в жидкости, с плотно закрытой пробкой. Полностью погрузите в мензурку пробирку с помощью палочки.
2. Вычислите архимедову силу, действующую на пробирку: $F_A = \rho_x g V$ (плотность воды 1000 кг/м^3). Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу.
3. Насыпьте в пробирку немного песка, чтобы при опускании в воду она плавала (рис. 4.50, а). Измерьте массу пробирки с песком и вычислите силу тяжести, действующую на пробирку: $F_{\text{тяж}} = mg$. Сравните архимедову силу и силу тяжести, действующие на пробирку в этом случае. Полностью погрузив пробирку в воду, определите максимальную силу Архимеда и сравните ее с силой тяжести. Снова сделайте вывод.

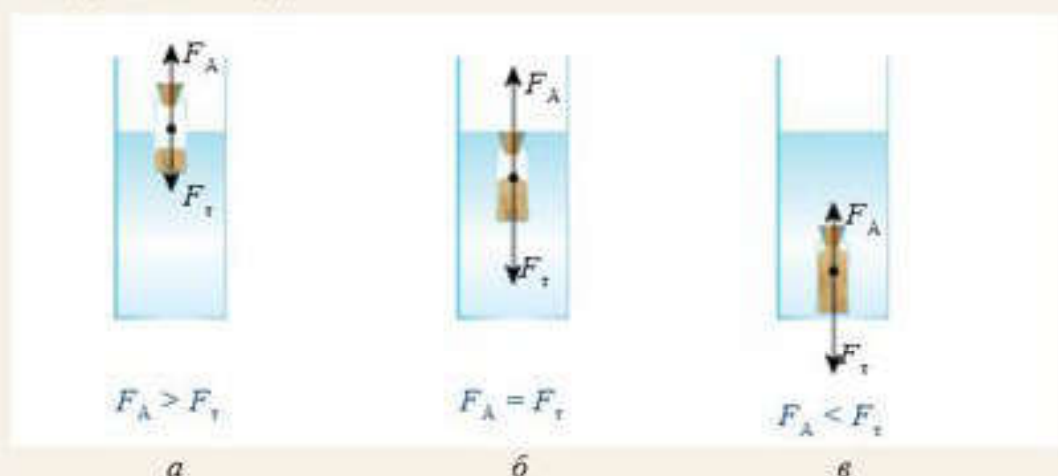


Рис. 4.50



4. Насыпьте в пробирку столько песка, чтобы при опускании в воду она плавала и часть ее находилась в воде, а часть — над поверхностью воды. Измерьте $V_{\text{погр}}$ — объем той части пробирки, которая находится в воде. Вычислите действующую на нее архимедову силу. Измерьте массу пробирки с песком и вычислите силу тяжести, действующую на них: $F_{\text{тяж}} = mg$. Сравните архимедову силу и силу тяжести, действующие на пробирку в этом случае.
5. Добавьте в пробирку еще немного песка, чтобы она полностью оказалась погруженной в воду, но не тонула, а плавала в ней (рис. 4.50, б). Измерьте массу пробирки с песком в этом случае, вычислите силу тяжести и сравните ее с архимедовой силой. Сделайте вывод.
6. Полностью заполните пробирку песком, измерьте ее массу и вычислите действующую на нее силу тяжести. Опустите пробирку в мензурку, она утонет (рис. 4.50, в). Сравните архимедову силу и силу тяжести, действующие на пробирку в этом случае. Сделайте вывод.
7. Сделайте общий вывод об условиях плавания тел. Результаты запишите в таблицу.

№ опыта	Объем пробирки, $V, \text{м}^3$	Архимедова сила, $F_A, \text{Н}$	Масса пробирки, $m, \text{кг}$	Сила тяжести, $F_{\text{тяж}}, \text{Н}$	Соотношение между F_A и $F_{\text{тяж}}$	Поведение пробирки в воде
1						
2						
3						
4						

Самое важное в главе

“Давление”

Агрегатное состояние вещества		
Твердое	Жидкое	Газообразное
Имеет собственный объем, собственную форму	Имеет собственный объем, принимает форму сосуда	Занимает объем сосуда, принимает форму сосуда
Движение молекул: колебательное относительно узлов кристаллической решетки	Движение молекул: колебательное с изменением положений равновесия	Движение молекул: беспорядочное и непрерывное

Закон Паскаля: давление, производимое на жидкость или газ, передается без изменения в каждую точку жидкости или газа.

Закон сообщающихся сосудов: в сообщающихся сосудах поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне.

В сообщающихся сосудах высоты столбов разнородных жидкостей обратно пропорциональны их плотностям.

Закон Архимеда: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая (архимедова) сила, равная весу жидкости в объеме погруженной части тела $F_A = P_x$, где $P_x = \rho_x g V_x$.

Условия плавания тел		
Соотношение силы тяжести и архимедовой силы	Соотношение плотностей жидкости и тела	Состояние тела
Сила тяжести меньше архимедовой силы	$\rho < \rho_x$	Тело плавает на поверхности жидкости
Сила тяжести равна архимедовой силе	$\rho = \rho_x$	Тело плавает внутри жидкости
Сила тяжести больше архимедовой силы	$\rho > \rho_x$	Тело тонет

Работа и мощность. Энергия

Люди строят плотины, чтобы использовать силу падающей воды. Падающая вода, обладая энергией, приводит в движение турбины электростанции.

Каким образом высота плотины влияет на величину энергии падающей воды?

Сегодня все больше и больше используют альтернативные источники энергии — ветряные двигатели. Для работы данного двигателя нужен ветер. Энергия ветра приведет в движение лопасти двигателя.

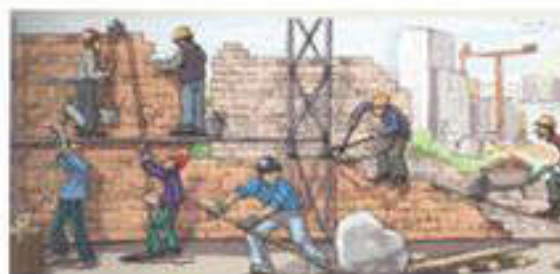
В каких местах лучше всего строить ветряные двигатели для получения большей электроэнергии?

На любой строительной площадке используются разные приспособления. Строители применяют различные механизмы для того, чтобы в зависимости от условий работы выиграть в силе или в пути.

На чем основана работа таких механизмов?

При распиливании дерева пила нагревается.

Не противоречит ли это закону сохранения механической энергии? Куда расходуется эта механическая энергия?





§ 32. Механическая работа. Мощность



Ключевые слова:

- ✓ механическая работа
- ✓ мощность
- ✓ джоуль
- ✓ ватт

На этом уроке вы:

- усвоите физический смысл работы и мощности;
- научитесь применять формулы для расчета механической работы и мощности при решении задач.

Механическая работа. Человек в своей жизни постоянно совершает какие-то действия: думает, двигается, поднимает и переносит различные предметы и т. д. Обо всех этих действиях принято говорить, что он *совершает работу*.

В физике понятие работы имеет иной смысл. Если под действием какой-нибудь силы (силы тяжести, упругости, трения и т. д.) тело перемещается, то совершается работа. Так, например, автомобиль движется под действием силы тяги автомобиля, человек поднимает груз на высоту, мяч падает на землю с некоторой высоты. При этом совершается работа.

Работа силы, совершаемая при перемещении тела, называется механической работой.

Как же рассчитать величину совершенной механической работы?

Предположим, что человек передвигает ящик на расстояние 5 м и прикладывает силу 200 Н. Если он будет перетаскивать такие же два ящика вместе на такое же расстояние, то ему потребуется приложить силу в два раза больше, т. е. 400 Н. Работа, которую он совершает во втором случае, будет в 2 раза больше.

Следовательно, чем больше сила, которая приложена к движущемуся телу, тем **большая** совершается работа.

Логично предположить, что работа зависит и от расстояния, на которое перемещается тело. Чем больше расстояние, на которое вам надо передвинуть груз, тем больше совершенная работа.

Из этих рассуждений следует, что **механическая работа** — физическая величина, равная произведению модуля силы, действующей на тело, и перемещения, пройденного им в направлении действия силы.

Механическую работу обозначают буквой A . Здесь мы ограничимся определением работы силы, действующей в направлении движения тела. Работу силы, действующей под углом к направлению движения, рассмотрим в старших классах.

В случае когда на тело действует постоянная сила, а направление движения тела и действующей на него силы совпадают, то работа вычисляется по формуле

$$A = Fs, \quad (32.1)$$

где F — сила, s — пройденный путь.

Итак, механическая работа совершается, если выполняются следующие условия:

- 1) на тело должна действовать сила;
- 2) под действием силы тело должно перемещаться.

Если одно из этих условий не выполняется, то работа не совершается.

Примеры : 1) мы действуем с силой на камень, но не можем его сдвинуть (рис. 5.1). Вы будете пытаться сдвинуть его, толкая, упираясь о землю и т. д. Устанете, но с точки зрения физики ваша работа будет равна нулю: камень останется на месте. Поскольку нет перемещения ($s = 0$), то и работа не совершается ($A = 0$).

2) при движении по инерции работа не совершается, так как в направлении движения на тело сила не действует ($F = 0$). Следовательно, $A = 0$.

В зависимости от направления действия силы работа может быть положительной и отрицательной.

Работа силы считается положительной, если направления движения тела и действующей на него силы совпадают, и отрицательной — если не совпадают.

Примеры : 1) сила тяжести, действуя на падающую вниз каплю воды, совершает положительную работу (рис. 5.2).



Рис. 5.1

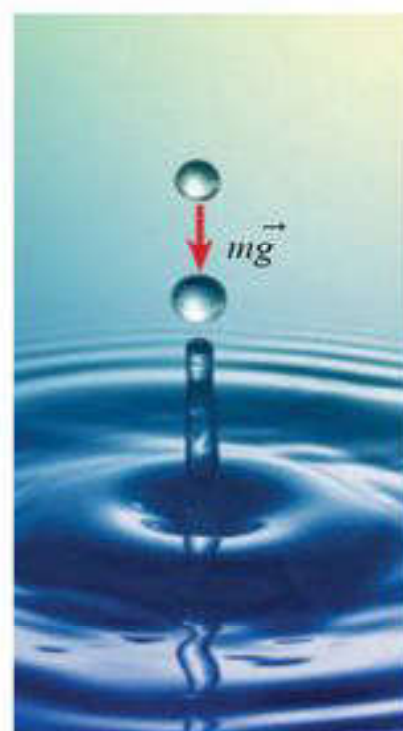


Рис. 5.2



Рис. 5.3

2) сила тяжести, действующая на поднимающийся воздушный шарик, совершает отрицательную работу (рис. 5.3). К силе, совершающей отрицательную работу, относятся и сила трения.

За единицу измерения работы принят 1 Дж. Если под действием силы 1 Н тело перемещается на расстояние 1 м, то величина совершенной работы равна 1 Дж: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$.

Единицу работы назвали в честь английского ученого Джеймса Джоуля.

Существуют и большие, и меньшие по сравнению с джоулем, единицы измерения работы: килоджоуль (1 кДж), мегаджоуль (1 МДж), миллиджоуль (мДж), микроджоуль (мкДж).



Это интересно!

При перелете с большого пальца руки человека на мизинец комар совершает работу — 10^{-27} Дж.



Мощность. Одну и ту же работу различные механизмы могут выполнять за разное время. Например, для поднятия 1000 кирпичей на третий этаж строящегося здания человеку потребуется более 16 часов. А подъемному крану для этого будет достаточно 10 минут (рис. 5.4). Для характеристики быстроты выполнения работы различными механизмами вводят особую физическую величину — *мощность*.

Под *мощностью* понимают физическую величину, определяемую работой, совершаемой за единицу времени. Мощность обозначают буквой N и вычисляют по формуле:

$$N = \frac{A}{t}, \quad (32.2)$$

где A — работа, t — время выполнения работы.



Рис. 5.4

За единицу измерения мощности принят **ватт (1 Вт)**. Единица мощности названа в честь изобретателя паровой машины английского ученого Джеймса Уатта.

Если за 1 с механизмом совершается работа в 1 Дж, то мощность такого механизма будет равна 1 Вт:

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Из формулы (32.2) следует, что работа, совершаемая механизмом, может быть найдена так:

$$A = Nt. \quad (32.3)$$

Если в формулу (32.2) подставить значение работы из формулы (30.1), то получим

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = Fv, \quad (32.4)$$

где v — это скорость равномерного движения тела. Формула (32.4) справедлива только тогда, когда на тело действует постоянная сила.

В технике часто используют более крупные и мелкие единицы мощности: *киловатт* (1 кВт), *мегаватт* (1 МВт), *милливатт* (мВт), *микроватт* (мкВт).



Это интересно!

Сердце человека за одно сокращение совершает приблизительно 1 Дж работы, что соответствует работе, совершенной при поднятии груза массой 10 кг на высоту 1 см.

Джеймс Уатт (1736—1819) пользовался единицей мощности — лошадиной силой (1 л. с.), которую он ввел для сравнения работоспособности паровой машины и лошади. 1 л. с. = 735 Вт. На самом деле мощность одной средней лошади примерно равна 0,5 л. с., хотя лошади бывают разные.

Считается, что в среднем мощность человека при спокойной ходьбе равна приблизительно 0,1 л. с., т. е. 70—90 Вт.

Мощность, развиваемая взрослым человеком при обычной ходьбе по ровной дороге, примерно равна 60—65 Вт. При быстрой же ходьбе уже требуется мощность 200 Вт.

Пушка выстреливает ядро массой 900 кг со скоростью 500 м/с, совершая при этом за 0,01 с работу в 110 000 000 Дж. Эта работа равнозначна работе по подъему 75 т груза на вершину пирамиды Хеопса (высота 150 м). Мощность выстрела пушки составляет при этом 11 109 Вт = 15 000 000 л. с.

Единицы измерения работы:

1 кДж = 1000 Дж = 10^3 Дж;
 1 МДж = 1 000 000 Дж = 10^6 Дж;
 1 мДж = 0,001 Дж = 10^{-3} Дж;
 1 мкДж = 0,000 001 Дж = 10^{-6} Дж.

Единицы измерения мощности:

1 кВт = 1000 Вт = 10^3 Вт;
 1 МВт = 1 000 000 Вт = 10^6 Вт;
 1 мВт = 0,001 Вт = 10^{-3} Вт;
 1 мкВт = 0,000 001 Вт = 10^{-6} Вт.



1. Каков физический смысл работы?
2. Назовите единицу измерения работы.
3. По какой формуле можно вычислить работу?
4. В каком случае работа силы считается положительной? отрицательной?
5. Что называют "мощностью"?
6. По какой формуле можно вычислить мощность?
7. Назовите единицу измерения мощности.
8. Как, зная мощность и время работы двигателя, рассчитать совершенную им работу?



- 1 Рассчитайте работу, совершаемую вами при ходьбе из дома в школу и обратно, если при каждом шаге совершается в среднем работа 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 — с помощью напольных весов.
- 3 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 и отвесом с метровыми делениями, часами с секундной стрелкой.



- 1 Трактор перемещает платформу со скоростью 7,2 км/ч, развивая тяговое усилие в 25 кН. Какую работу совершит трактор за 10 мин? (30 МДж)
- 2 Со дна реки глубиной 4 м поднимают камень объемом 0,6 м³ на поверхность. Плотность камня 2500 кг/м³, плотность

воды 1000 кг/м³. Найдите работу по подъему камня. (36 кДж)

- 3 Поршень двигателя перемещается на 20 см под давлением 800 кПа. Определите работу, совершаемую двигателем за один ход поршня, если площадь поршня 150 см². (2,4 кДж)



Рис. 5.5

§ 33. Энергия

На этом уроке вы:

- узнаете энергию, как меру способности тела совершать работу.



Ключевые слова:

- ✓ энергия
- ✓ джоуль

Если тело способно совершать работу, то говорят, что оно обладает *энергией*.

Энергия является сложным понятием. Она непосредственно связана с понятиями *работа* и *движение*. Двигаясь, тело расходует свою энергию и совершает работу. Так, например, движущееся с некоторой скоростью тело обладает энергией; она равна работе, которую надо совершить, чтобы сообщить покоящемуся телу эту скорость; падающая вода, обладающая энергией, приведет в движение турбины электростанции. Значит, *энергия является мерой способности тела совершать работу*.

Чтобы машина (механизм, двигатель) совершала работу, она должна обладать определенной энергией. Так, например, чтобы двигатель автомобиля работал, необходимо заправить автомобиль бензином. Стоя, бензин отдает свою энергию двигателю, и автомобиль приходит в движение (рис. 5.6). Для работы ветряного двигателя нужен ветер (рис. 5.7).

Чем **б**ольшую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

Энергию выражают в тех же единицах, что и работу, т. е. в джоулях. Энергию, как физическую величину, обозначают буквой *E*.

В механике различают два вида энергии — *кинетическую* и *потенциальную*. Далее рассмотрим эти виды энергий.



Рис. 5.6



Рис. 5.7



1. О каких телах говорят, что они обладают энергией?
2. Как вы понимаете выражение: "Энергия — это физическая величина"?
3. Назовите единицу измерения энергии в системе СИ. Объясните, почему единица измерения энергии и единица измерения работы одна и та же.

§ 34. Кинетическая и потенциальная энергия



На этом уроке вы:

- узнаете о двух видах энергии: кинетической и потенциальной;
- научитесь применять формулы для расчета кинетической и потенциальной энергии при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ кинетическая энергия
- ✓ потенциальная энергия

Энергия, которой обладает тело вследствие своего движения, называется *кинетической энергией* (E_k).

Кинетическая энергия зависит от скорости движения тела и его массы, причем чем больше масса тел и скорость их движения, тем больше их кинетическая энергия (рис. 5.8).

Кинетическую энергию рассчитывают по формуле

$$E_k = \frac{mv^2}{2}. \quad (34.1)$$

Если тело движется по горизонтальной поверхности, изменяя свою скорость под действием силы, то работа этой силы приведет к изменению кинетической энергии тела. В этом случае справедлива теорема о кинетической энергии.

Работа равнодействующей силы равна изменению кинетической энергии тела:

$$A = E_{k2} - E_{k1}. \quad (34.2)$$



Рис. 5.8

Кинетическая энергия является относительной величиной, так как скорость тела — относительная величина, в разных системах отсчета она различна.

Теперь остановимся на потенциальной энергии, которую называют *энергией взаимодействующих тел*.

Энергия, которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел (или частей одного и того же тела), называется *потенциальной энергией* (E_p).

Потенциальная энергия в однородном поле силы тяжести. На любое тело, находящееся на земле, действует сила тяжести. Рассчитаем работу, которую совершает сила тяжести при падении тела.

Пусть тело падает с высоты h_1 до h_2 (рис. 5.9). Величина работы, совершаемой силой тяжести, действующей на тело, в этом случае рассчитывается по формуле:

$$A = mgH = mg(h_1 - h_2) \text{ или} \\ A = -(mgh_2 - mgh_1). \quad (34.3)$$

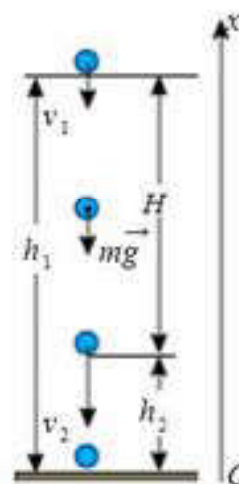


Рис. 5.9

Выражения $E_{p1} = mgh_1$ и $E_{p2} = mgh_2$ характеризуют начальное и конечное состояния тела. Тогда величина, определяемая формулой

$$E_p = mgh, \quad (34.4)$$

и является энергией. Эту энергию назвали **потенциальной энергией в однородном поле силы тяжести**.

Из формулы (34.3) следует, что работа, совершаемая силой тяжести, равна убыли потенциальной энергии тела.

$$A = -(E_{p2} - E_{p1}). \quad (34.5)$$

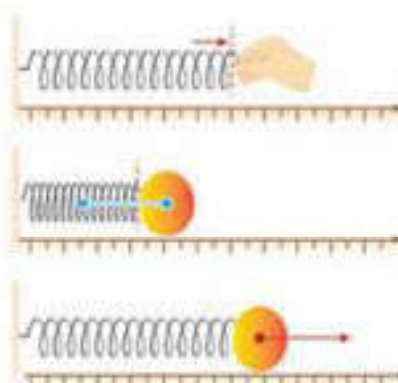


Рис. 5.10

При расчете потенциальной энергии важно правильно выбрать нулевой уровень энергии. Обычно за нуль потенциальной энергии в однородном поле силы тяжести принимают уровень моря. Поэтому любое тело, поднятое над поверхностью земли, обладает положительной потенциальной энергией. При падении потенциальная энергия тела уменьшается, а кинетическая энергия возрастает, так как растет скорость тела.

Потенциальная энергия упругодеформированного тела. Если пружину растянуть, то в ней возникнет сила упругости, величину которой можно найти по закону Гука. Чем больше внешняя сила, растягивающая пружину, тем больше сила упругости: $F_1 = kx_1$ и $F_2 = kx_2$. Если к растянутой пружине прикрепить шарик, то пружина сообщит ему скорость (рис. 5.10). Значит, деформированное тело тоже обладает энергией. Вычислим эту энергию. Для этого

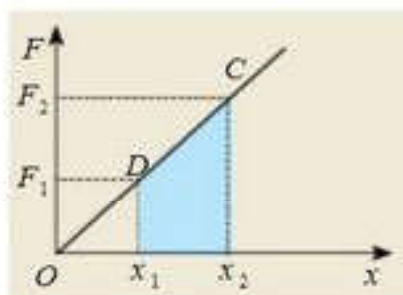


Рис. 5.11

воспользуемся графиком (рис. 5.11). Работу упругой силы найдем как площадь фигуры, ограниченной графиком $F = (f)x$. Она равна разности площади треугольника OCx_2 и тре-

угольника ODx_1 : $A_1 = \frac{F_1 x_1}{2} = -\frac{kx_1^2}{2}$;

$$A_2 = \frac{F_2 x_2}{2} = -\frac{kx_2^2}{2}, \text{ т. е. } A = -\left(\frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}\right). \quad (34.6)$$

В то же время работа равна разности энергии $A = E_{p2} - E_{p1}$. Значит потенциальная энергия упругодеформированного тела равна

$$E_p = \frac{kx^2}{2}. \quad (34.7)$$

Из формул (34.3) и (34.6) видно, что работа сил тяжести и упругости определяется только начальной и конечной координатой. И в обоих случаях работа этих сил равна убыли потенциальной энергии тела. Из этих же формул следует, что работа этих сил не зависит от формы траектории, а работа по замкнутой траектории равна нулю.

Мы видим, что работа может быть совершена тогда, когда в системе есть запас энергии. Человечество нуждается в энергии все больше и больше. Как ее добывать из тел, в которых она запасена, — об этом стоит задуматься. Например, вода в реках обладает кинетической энергией, которую люди научились использовать — построили гидроэлектростанции (ГЭС), на которых превращают ее в электроэнергию (рис. 5.12).



Рис. 5.12.
Бухтарминская
гидроэлектростанция

Есть и другие примеры использования энергии тел. Падая вниз, тело совершает работу, раскручиваясь, пружина совершает работу и т. д.



1. Какие существуют виды механической энергии?
2. Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией; кинетической энергией.
3. Зависит ли значение энергии от выбора положения тела отсчета? Приведите примеры.
4. Подтвердите зависимость кинетической энергии от массы тела.
5. Подтвердите зависимость кинетической энергии от скорости тела.
6. Приведите примеры, доказывающие, что поднятое над поверхностью земли тело обладает энергией.



- 1 Сосулька массой 500 г сорвалась с крыши дома высотой 7 м. Какую работу совершила сила тяжести при падении сосульки? (35 Дж)
- 2 Классная комната имеет высоту 4 м, в ней находятся столы высотой 70 см. Книгу массой 300 г, лежащую на столе, передвигают по столу на 120 см. Чему равна работа силы тяжести? (0 Дж)
- 3 Спортсмен-экстремал, занимающийся затяжными прыжками на парашюте с высоких гор, пролетел в свободном падении 45 м (рис. 5.13). Какую скорость он приобрел? (108 км/ч)
- 4 Используя данные, приведенные на рис. 5.14, определите, при подъеме какого тела совершена самая большая работа.



Рис. 5.13

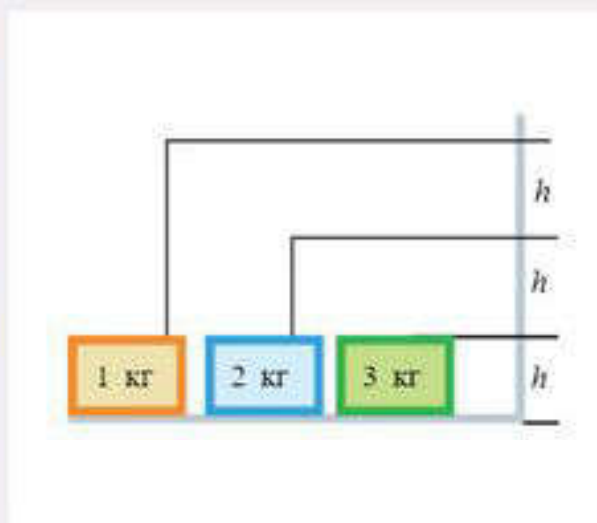


Рис. 5.14

5 Сатурн сделал один оборот вокруг Солнца (рис. 5.15). Какая работа совершена при этом, если на Сатурн действовала сила притяжения к Солнцу, равная $38 \cdot 10^{20}$ Н, а длина орбиты Сатурна составляет $9 \cdot 10^9$ км? (0 Дж)



Рис. 5.15

6 Автомобиль массой 1,2 т, двигаясь со скоростью 90 км/ч, затормозил и снизил свою скорость до 36 км/ч. Какую работу совершила сила трения? (315 кДж)

7 Груз массой m находился на горке на высоте $3H$, затем съехал на уступ высотой H и остановился (рис. 5.16). Какую работу при этом совершила сила тяжести? ($A_t = 2mgH$)

8 Тело свободно падает с высоты 10 м. Какова скорость тела на высоте 6 м от поверхности земли? (≈ 9 м/с)

9 Мальчик стреляет из пружинного пистолета вертикально вверх. Снаряд, имеющий массу 5 г, поднимается на высоту 40 м. Определите деформацию пружины этого пистолета до выстрела, если ее жесткость 200 Н/м. (4,47 см)

10 Пуля, массой 9 г, пробив доску толщиной 5 см, снизила свою скорость с 600 м/с до 200 м/с. Найдите силу сопротивления движению, считая ее постоянной. (1,44 кН)

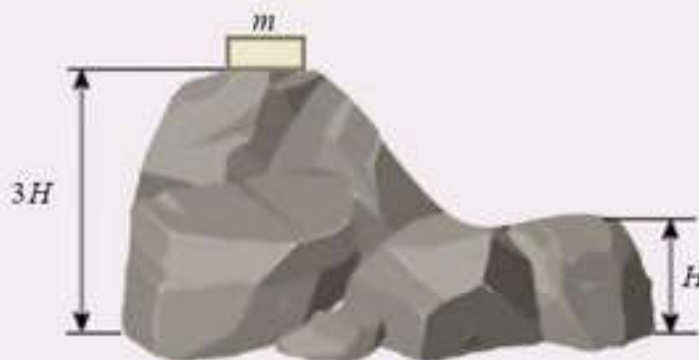


Рис. 5.16

§ 35. Закон сохранения и превращения механической энергии



На этом уроке вы:

- научитесь объяснять и приводить примеры на закон сохранения и превращения механической энергии;
- научитесь применять закон сохранения механической энергии при решении задач.



Ключевые слова:

- ✓ полная механическая энергия тела
- ✓ закон сохранения и превращения энергии

И в природе, и в технике происходит постоянное превращение одного вида энергии в другой. Так, движение маятника является примером взаимного превращения потенциальной и кинетической энергий. Когда груз маятника проходит через низшую точку, его потенциальная энергия полностью превращается в кинетическую, а когда груз поднимается на максимальную высоту и останавливается, кинетическая энергия снова превращается в потенциальную.

Закон сохранения и превращения энергии. В замкнутой системе, в которой действуют только консервативные силы, справедлив закон сохранения и превращения энергии, который гласит: **в замкнутой системе тел, между которыми действуют только консервативные силы, сумма кинетической и потенциальной энергии всех тел системы остается величиной постоянной.**

Математически это записывается так:

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}. \quad (35.1)$$

Сумма кинетической и потенциальной энергий тела называется *полной механической энергией тела*: $E = E_k + E_p = \text{const}$.

Консервативными силами называются силы, работа которых не зависит от формы траектории. К ним относятся сила тяжести, сила упругости, силы электростатического взаимодействия.

Понятно, что работа консервативных сил по замкнутой траектории равна нулю. Предлагаем вам самостоятельно доказать это положение.

Доказать закон сохранения и превращения энергии можно, рассмотрев падение тела. Обратимся к рис. 5.17. Из него следует,

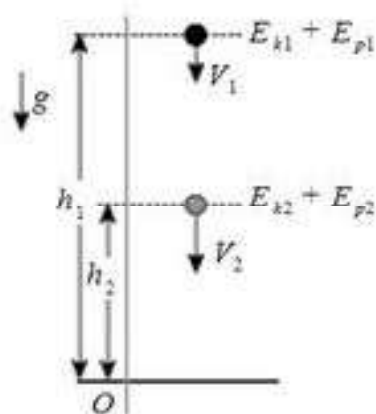


Рис. 5.17

что работа силы тяжести равна убыли потенциальной энергии тела:

$$A = -(mgh_2 - mgh_1). \quad (35.2)$$

Во время свободного падения на тело действует одна-единственная сила — сила тяжести, работа которой идет на увеличение кинетической энергии тела, т. е.

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}. \quad (35.3)$$

Левые стороны формул (35.2) и (35.3) равны, следовательно, равны и правые части.

Тогда получим $mgh_1 - mgh_2 = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$.

Отсюда следует

$$mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} \quad (35.4)$$

или

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}. \quad (35.5)$$

В левой части формулы (35.5) имеем полную механическую энергию в первом состоянии тела, а в правой — полную механическую энергию во втором состоянии. Следовательно, энергия при переходе из одного состояния в другое сохранилась.

Если рассмотреть процесс выстрела шарика из игрушечного пистолета, в котором энергия сжатой пружины переходит в кинетическую энергию, то получим такой же результат.

Закон сохранения и превращения энергии значительно упрощает решение задач, особенно в тех случаях, когда на тело действуют переменные силы.



Обратите внимание!

Закон сохранения механической энергии является частным случаем всеобщего закона сохранения и превращения энергии:

энергия тела никогда не исчезает и не появляется вновь, она лишь превращается из одного вида в другой.



1. В чем заключается закон сохранения механической энергии?
2. Какая связь существует между изменениями кинетической и потенциальной энергий одного и того же тела?
3. Что называется "механической энергией тела"?
4. Всегда ли выполняется закон сохранения механической энергии?
5. Объясните, как изменяются потенциальная и кинетическая энергии мяча, брошенного вертикально вверх, в процессе его полета.

§ 36. Простые механизмы

На этом уроке вы:

- узнаете, что называют *простыми механизмами*;
- научитесь приводить примеры на применение простых механизмов.



Ключевые слова:

✓ простые механизмы

На современном этапе развития человеческое общество создало сложнейшие механизмы и устройства, без которых оно не может обойтись в повседневной жизни. Невозможно представить себе, какие трудности испытывали строители, если бы в их распоряжении отсутствовали подъемные краны, экскаваторы, тракторы, бульдозеры, машины и другие строительные механизмы. Также нам сложно представить жизнь без современной бытовой техники.

Все эти блага человечество получило в результате многовековых усилий по созданию устройств, облегчающих процесс жизнедеятельности. Несмотря на большие достижения в этой области, люди продолжают пользоваться и такими простыми механизмами, как нож, ножницы, лопата, рычаг, наклонная плоскость, молоток и др. (рис. 5.18). При использовании этих механизмов люди чаще всего не задумываются об истории их создания, о тех трудностях, которые испытывали их создатели.



Рис. 5.18



Это интересно!

История создания механизмов уходит в глубокую древность. Например, на Ближнем Востоке еще 4500 лет назад пользовались подъемным устройством — *шадуфом*, представляющим собой коромысло, на одном конце которого был подвешен груз, а на другом крепилось ведро.



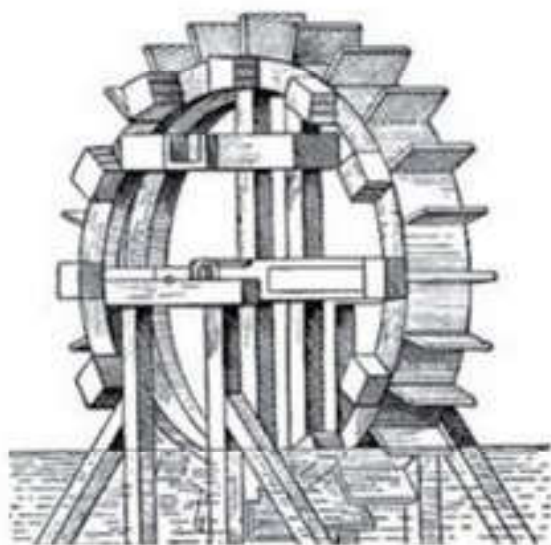
Из глубины веков до нас доходят сведения о том, как древние жители в тех случаях, когда усилий их мышц не хватало для совершения определенных действий (например, поднятие тяжелого камня), использовали различные приспособления и устройства, облегчающие труд. Эти устройства стали называться *простыми механизмами*. Следовательно, любой простой механизм предназначен для того, чтобы получить выигрыш в силе.

В качестве первых простых механизмов человек использовал рычаг, наклонную плоскость, блок, ворот, клин, винт.

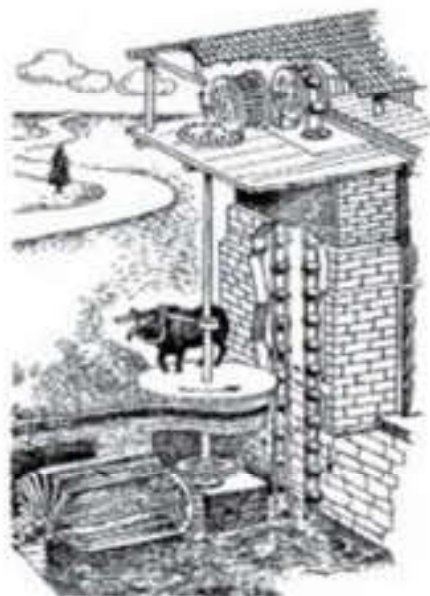
В дальнейшей своей трудовой деятельности человек стал использовать комбинации простых механизмов, в результате чего появились первые простейшие машины (винтовой пресс, телега, арбалет, мельничные жернова и т. д.).

Простыми механизмами называются приспособления, служащие для преобразования силы.

В современной жизни мы используем сложные механизмы (экскаваторы, бульдозеры, насосы, краны, гидравлические и пневматические прессы, домкраты), которые значительно облегчают физический труд человека. Многие узлы данных сложных механизмов представляют собой комбинации простых механизмов.



С помощью *норис* — большого колеса, приводимого в действие потоком воды, — можно поднимать воду на огромную высоту.



Самой распространенной водоподъемной машиной на Ближнем Востоке была *сакия*, состоящая из большого числа черпаков, связанных цепью, и колеса с вертикальной осью вращения, приводимого в действие быком.



1. Какую роль для человечества играют механизмы?
2. Что вы понимаете под "простыми механизмами"?
3. С какими простыми механизмами вы сталкивались в своей жизни?

§ 37. Центр масс тел

На этом уроке вы:

- научитесь различать понятия *центр масс* и *центр тяжести*;
- узнаете, как экспериментально находить центр масс плоской фигуры



Ключевые слова:

- ✓ центр масс
- ✓ центр тяжести
- ✓ устойчивое равновесие
- ✓ неустойчивое равновесие

В любом теле имеется одна замечательная точка — центр масс.

Центр масс — это геометрическая точка, положение которой характеризует распределение масс в теле.

У однородных симметричных тел центр масс располагается в геометрическом центре тела, например, у шара он лежит в его геометрическом центре, у цилиндра находится на середине линии, соединяющей центры его оснований, у параллелепипеда — в точке пересечения диагоналей (рис. 5.19). Иногда центр масс тела может лежать вне тела. Как видно из рис. 5.20 центр масс кольца лежит на пересечении диаметров. Если повесить кольцо за его центр масс, то он останется в покое.

При движении тела его центр масс движется как материальная точка, равная массе всего тела.

В некосмических задачах гравитационное поле обычно считается постоянным. В однородном гравитационном поле (ускорение свободного падения на поверхности Земли примерно $9,8 \text{ м/с}^2$) центр масс твердого тела совпадает с центром тяжести. Поэтому центр масс часто называют *центром тяжести тел*.

Что же такое *центр тяжести*? Мысленно разделим тело на несколько частей. На каж-

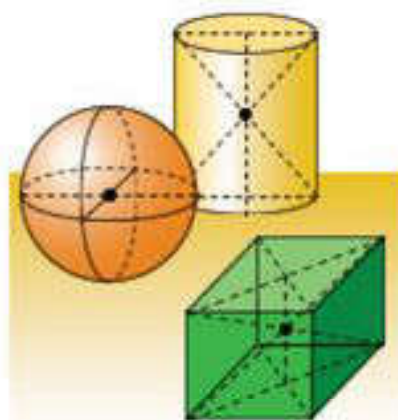


Рис. 5.19

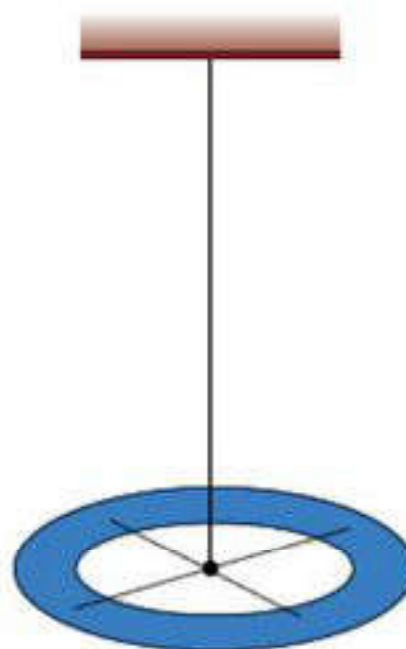


Рис. 5.20

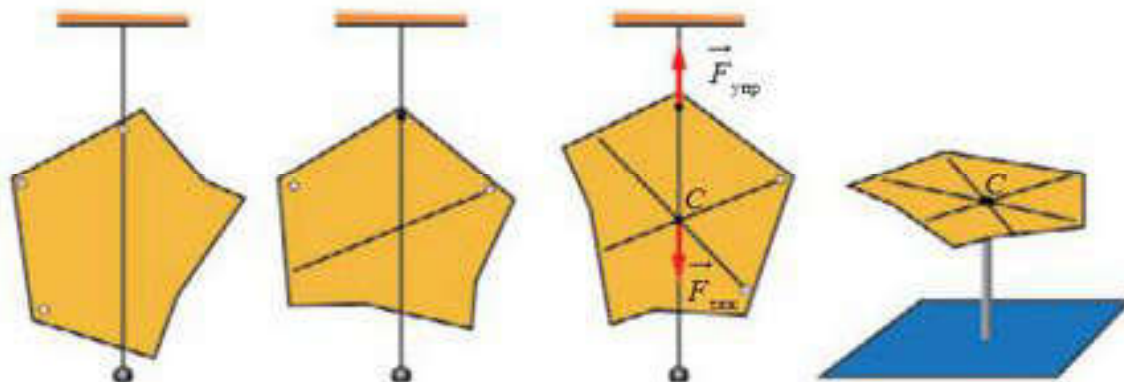


Рис. 5.21

дую часть будет действовать сила тяжести, которая всегда направлена вертикально вниз.

Точка приложения равнодействующей сил тяжести, действующих на отдельные части тела, называется *центром тяжести тела*.

Положение центра тяжести твердого тела можно определить экспериментально. Для этого достаточно поочередно подвесить тело за две различные точки на его поверхности и провести вертикали через точки подвеса. Пересечение этих линий — линий действия сил тяжести — и определяет положение центра тяжести тела (рис. 5.21).

От положения центра масс зависит условие равновесия тела. Если выведенное из положения равновесия тело не возвращается в начальное положение, то такое равновесие называется **неустойчивым**, а если тело возвращается — **устойчивым**.

При создании различных машин и механизмов важно знать, при каких условиях они будут устойчивыми, т. е. находиться в равновесии. В следующем параграфе рассмотрим условия равновесия механизмов на примере рычага.



1. Что называется "центром масс тела"?
2. Для чего необходимо знать центр масс тела?
3. Как определяется центр масс тела?
4. Когда центр масс тела совпадает с центром тяжести?
5. Какое равновесие называют "устойчивым"?
6. Какое равновесие называют "неустойчивым"?



Лабораторная работа № 8

НАХОЖДЕНИЕ ЦЕНТРА МАСС ПЛОСКОЙ ФИГУРЫ

Цель работы: используя предложенное оборудование, опытным путем найти положение центра масс двух фигур из картона и треугольника.

Оборудование: штатив, плотный картон, треугольник, линейка, скотч, нить, карандаш.

Задание 1. Определите положение центра масс плоской фигуры произвольной формы.

Ход работы: Любое реальное тело, обладающее конечными размерами и массой, можно рассматривать как совокупность составляющих его частей. На каждую из этих частей в отдельности действует сила тяжести. Сила тяжести, которая действует на тело в целом, является равнодействующей этих сил. Точку приложения этой равнодействующей принято называть *центром масс* тела.

1. С помощью ножниц вырежьте из картона фигуру произвольной формы. Скотчем прикрепите к ней нить в точке A . Подвесьте фигуру за нить к лапке штатива. С помощью линейки и карандаша отметьте на картоне линию вертикали AB (рис. 5.22, a).
2. Переместите точку крепления нити в положение C . Повторите описанные действия. С помощью линейки и карандаша отметьте на картоне линию вертикали CD (рис. 5.22, b).
3. Точка O пересечения линий AB и CD дает искомое положение центра масс фигуры.

Задание 2. Определите положение центра масс треугольника.

Ход работы:

1. С помощью скотча закрепите один из концов нити в вершине треугольника и подвесьте его к лапке штатива.
2. С помощью линейки отметьте направление AB линии действия силы тяжести (сделайте отметку B на противоположной стороне треугольника). (рис. 5.23, a).
3. Повторите аналогичную процедуру, подвесив треугольник за вершину C . На противоположной вершине C стороне треугольника сделайте отметку D (рис. 5.23, b).
4. С помощью скотча прикрепите к треугольнику отрезки нитей AB и CD . Точка O их пересечения определяет положение центра масс треугольника. В данном случае центр масс фигуры находится вне пределов самого тела.
5. Сделайте выводы.

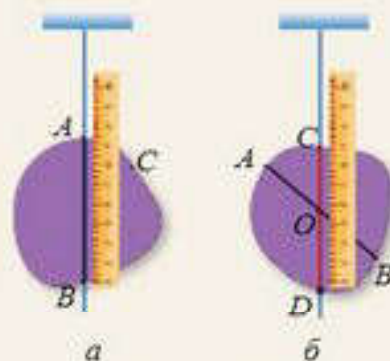


Рис. 5.22

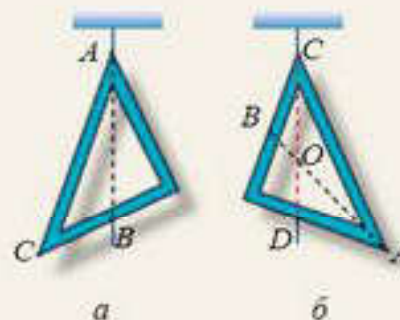


Рис. 5.23

§ 38. Условие равновесия рычага



Ключевые слова:

- ✓ рычаг
- ✓ плечо силы
- ✓ момент силы
- ✓ подвижный блок
- ✓ неподвижный блок

На этом уроке вы:

- усвоите понятие *момент силы*;
- узнаете, в чем состоит правило равновесия рычага;
- научитесь применять условие равновесия рычага при решении задач.

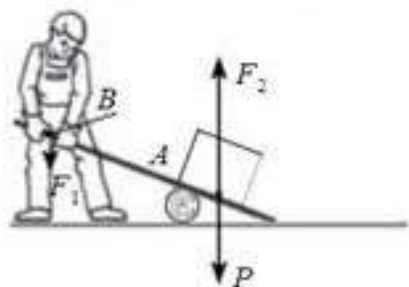


Рис. 5.24

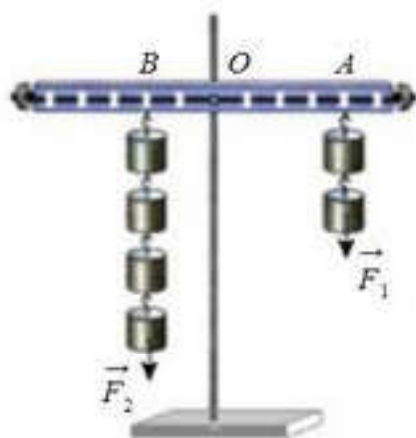


Рис. 5.25

Одним из самых простых механизмов является *рычаг*.

Рычаг — это твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной точки опоры или оси.

В качестве рычага можно использовать палку, доску, лом. На рис. 5.24 рычагом является лом, который вращается вокруг точки A . Когда на длинный конец лома действуют с силой \vec{F}_1 , его короткий конец приподнимает груз, действующий на него с силой \vec{F}_2 . Точки приложения обеих сил находятся на противоположных по отношению к точке A сторонах рычага.

Прямая линия, вдоль которой действует сила, называется *линией действия силы*.

Для расчета выигрыша в силе, получаемого с помощью рычага, проведем опыт. Укрепим на штативе рычаг и по обе стороны от оси вращения прикрепим к нему грузы (рис. 5.25).

Со стороны грузов на рычаг будут действовать силы \vec{F}_1 и \vec{F}_2 , направленные вниз. Зафиксируем положение большего груза в точке B . В зависимости от места прикрепления меньшего груза рычаг может начать вращаться по ходу часовой стрелки или против ее хода.

Кратчайшее расстояние между точкой опоры и прямой, вдоль которой на рычаг действует сила, называется *плечом силы*.

На рис. 5.25 плечом силы \vec{F}_1 является расстояние d_1 (AO) — перпендикуляр из точки O на прямую, вдоль которой действует

сила \vec{F}_1 . Соответственно, плечом силы \vec{F}_2 является расстояние d_2 (OB). Каждая сила будет создавать вращающий момент M_1 и M_2 .

Момент силы — это физическая величина, равная произведению действующей силы на ее плечо:

$$M = F \cdot d, \quad (38.1)$$

где M — момент силы, F — модуль силы, d — плечо силы.

Слово *момент* происходит от лат. *momentum*, что означает “движущая сила”, “толчок”. Единицей измерения момента силы является $[M] = Н \cdot м$.

Опыт показывает, что *рычаг остается в равновесии, если моменты силы, вращающий рычаг по часовой стрелке, равен моменту силы, вращающий рычаг против часовой стрелки*:

$$M_1 = M_2, \text{ или } F_1 d_1 = F_2 d_2.$$

Отсюда следует, что выигрыш в силе зависит от отношения плеч.

Пусть в нашем опыте $d_2 = 2d_1$. Тогда выигрыш в силе будет равен 2.

На основании подобных опытов более 2 тыс. лет назад древнегреческим ученым Архимедом было установлено следующее правило равновесия рычага:

рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

Это правило (условие) *равновесия рычага* записывают в виде формулы:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{d_1}{d_2} \quad (38.2)$$

Зная правило равновесия рычага, можно объяснить, как с помощью простого механизма получить выигрыш в силе.

Если к длинному концу рычага приложить небольшую силу, то можно уравновесить гораздо **большую** силу, приложенную к короткому концу рычага. **Различают два вида рычага** (рис. 5.26).

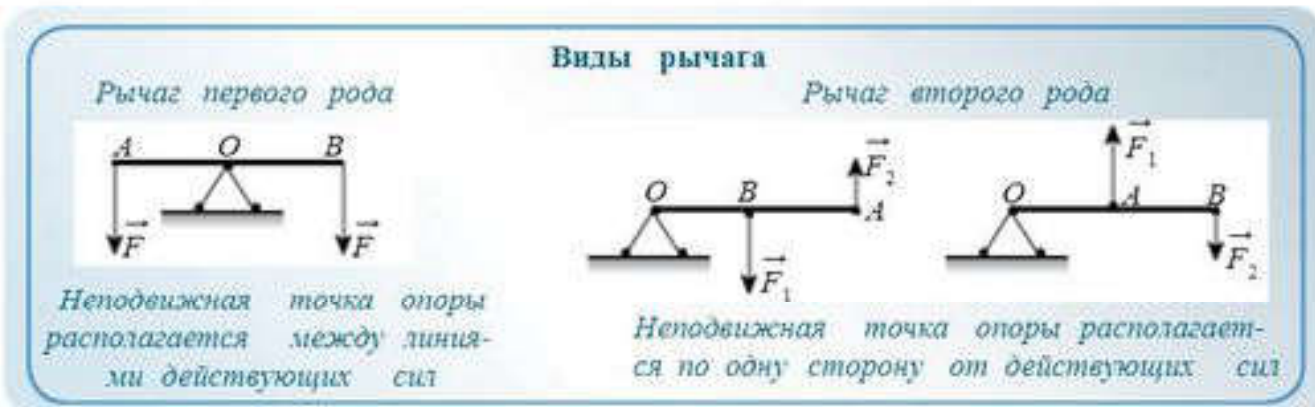


Рис. 5.26

Используя условия равновесия рычага, можно объяснить действие еще одного простого механизма — блока.

Блок представляет собой колесо с желобом, которое может вращаться относительно оси. По желобу пропускают нить, трос или веревку. Различают два вида блоков: *подвижные* и *неподвижные*.

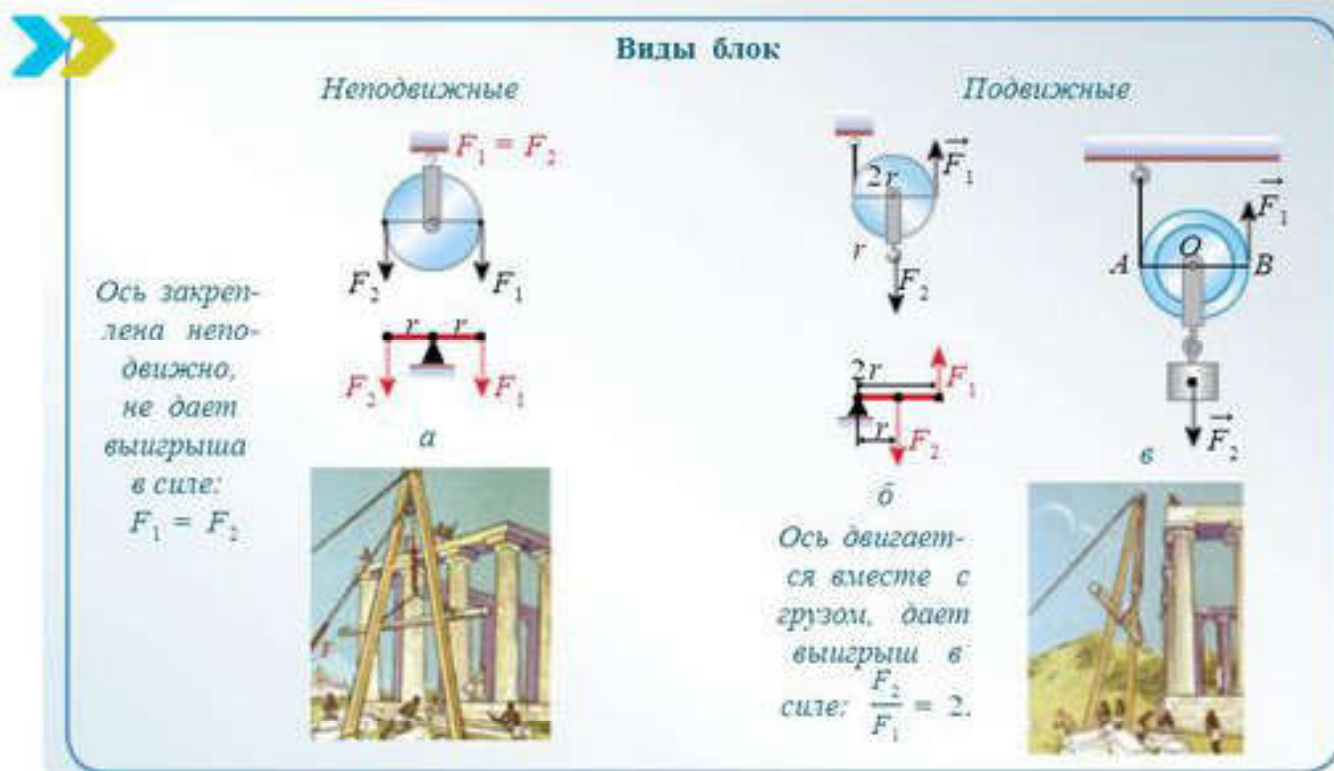


Рис. 5.27

Неподвижный блок. Если ось блока закреплена, то блок называется *неподвижным*, так как его ось не поднимается и не опускается.

Неподвижный блок можно представить как равноплечий рычаг, плечи которого равны радиусу колеса (рис. 5.27). Так как плечи неподвижного блока равны, он не дает выигрыша в силе. Неподвижный блок применяется для изменения направления действующей силы. Его удобно использовать в комбинации с другими простыми механизмами.

Подвижный блок. Чтобы получить выигрыш в силе, используют *подвижный блок* (рис. 5.27, б). Ось подвижного блока поднимается или опускается вместе с грузом. Подвижный блок тоже можно рассматривать как рычаг с плечами, равными r и $2r$, так как в данном случае ось вращения будет проходить через точку A (рис. 5.27, в), где плечи $AO = r$ и $AB = 2r$.

Тогда, применяя соотношение (38.2) к подвижному блоку, получим: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{2r}{r}$. Следовательно, **любой подвижный блок дает выигрыш в силе в 2 раза.**

Наклонная плоскость. Наклонная плоскость тоже дает выигрыш в силе. Например, нам надо поднять груз массой m на высоту h (рис. 5.28). Это можно осуществить двумя способами.

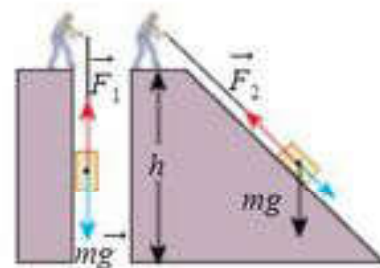
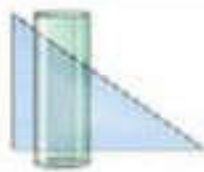


Рис. 5.28

Первый способ: поднять груз вертикально вверх на высоту h , прилагая силу F_1 . При этом будет совершена работа $A_1 = F_1 h$.

Второй способ: втащить груз по наклонной плоскости длиной l , прилагая силу F_2 , направленную вдоль гладкой (трение отсутствует) наклонной плоскости. Найдем работу и в этом случае: $A_2 = F_2 l$. В обоих случаях совершенная работа одна и та же, т. е. $A_1 = A_2$ или $F_1 h = F_2 l$. Отсюда следует: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l}{h_2}$. Это означает, что во сколько раз сила тяги, действующая на тело вдоль наклонной плоскости, меньше силы, действующей при поднятии груза вертикально вверх, во столько раз высота наклонной плоскости меньше ее длины. Следовательно, большинство простых механизмов дают выигрыш в силе.

Наклонные плоскости



1. Что называется "рычагом"?
2. Что называется "линией действия силы"?
3. Дайте определение "плеча силы".
4. Что называется "моментом силы"?
5. Что называется "выигрышем в силе" и как его находят?
6. Когда рычаг будет находиться в равновесии?



Измерьте с помощью миллиметровой линейки плечи рычагов ножниц, ключа дверного замка, гаечного ключа и др. Определите выигрыш в силе данных простых механизмов.



1 Плечи рычага, находящегося в равновесии, соответственно равны 15 см и 60 см. Меньшая сила, действующая на рычаг, равна 1,5 Н. Определите величину большей силы. Какой выигрыш в силе дает рычаг? Чему равен выигрыш в работе? (6 Н, в 4 раза, 0)

2 На концах рычага действуют силы 2 Н и 18 Н. Длина рычага 1 м. Где расположена точка опоры, если рычаг находится в равновесии? (10 см от силы 18 Н)

3 Длина меньшего плеча рычага 5 см, а большего 1,5 м. На большее плечо действуют силой 12 Н. Какую силу надо приложить к меньшему плечу, чтобы уравновесить рычаг? Определите выигрыш в силе, который дает этот рычаг. Чему равен выигрыш в работе в этом случае? (3,6 кН)

4 На расстоянии 10 см от точки опоры подвешены 4 груза по 100 г. Какую силу надо приложить на расстоянии 20 см, чтобы рычаг находился в равновесии? (2 Н)

Примеры решения задач

Задача 1. Будет ли система блок-рычаг-грузы (рис. 5.29, а) находиться в равновесии?

Решение. Расставим силы, действующие на рычаг (рис. 5.29, б). Учтем, что неподвижный блок не дает выигрыша в силе, а только изменяет ее направление. Поэтому сила натяжения нити F_n будет равна силе тяжести, действующей на левый груз mg , т. е.

$$F_n = mg.$$

Если длину одного деления рычага принять за d , то плечо силы F_n равно $4d$, а плечо силы $2mg$ равно $2d$. Условие равновесия выполняется при

$$M_1 = M_2.$$

Проверим: $mg_n \cdot 4d = 2mg \cdot 2d$.

Равенство справедливо, т. е. рычаг будет в равновесии.

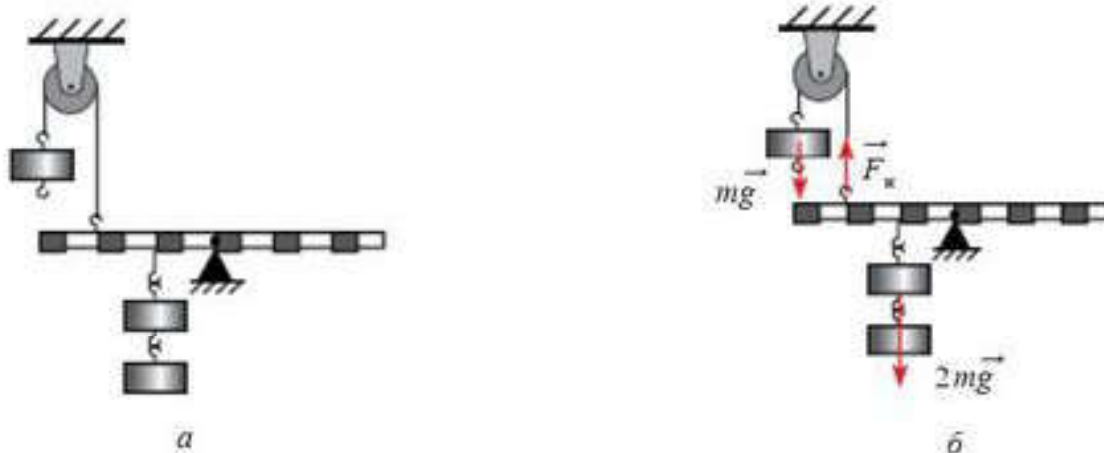


Рис. 5.29

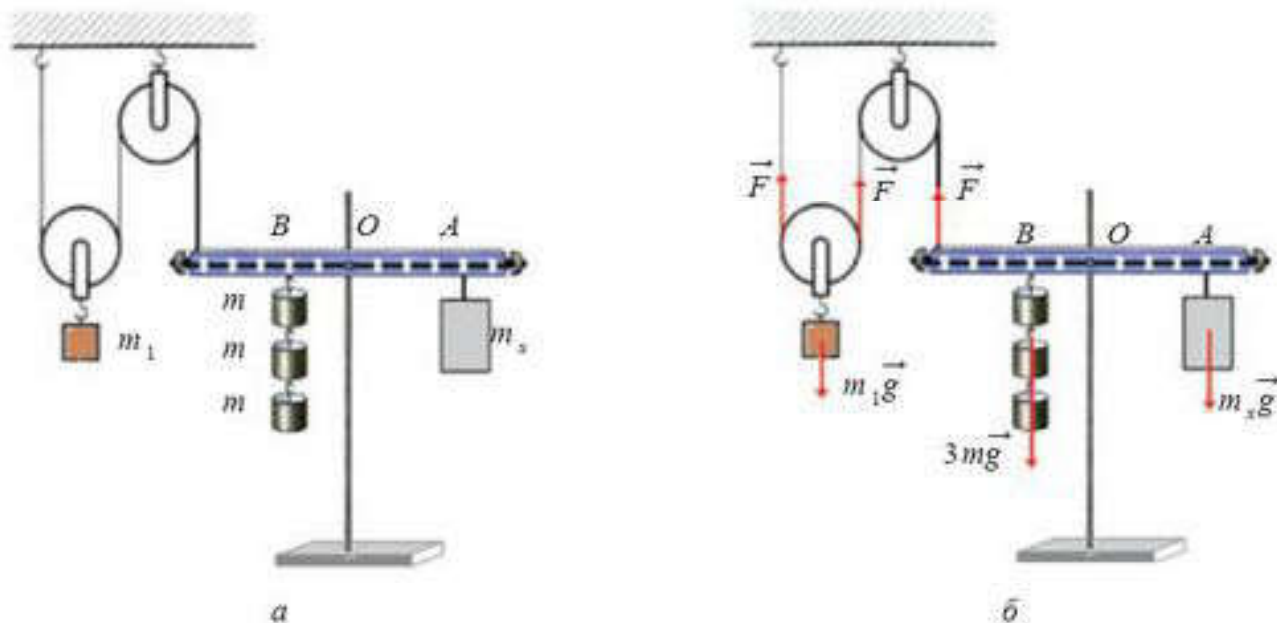


Рис. 5.30

Задача 2. Груз какой массы надо подвесить к рычагу в точке A (рис. 5.30, a), чтобы рычаг остался в равновесии? Масса груза $m_1 = 200$ г, масса каждого грузика, подвешенного в точке B рычага, равна 100 г (массой подвижного блока и трением пренебречь).

Решение. Расставим силы, действующие на рычаг и блоки (рис. 5.30, b).

Рычаг будет в равновесии, если сумма моментов, действующих на него, будет равна нулю. Относительно точки O имеем:

$$F5d + m_x g 4d - 3mg 2d = 0. \tag{1}$$

Подвижный блок будет в равновесии, если

$$2F = m_1 g.$$

Отсюда $F = \frac{m_1 g}{2} = 0,5 m_1 g$.

С учетом этого формула (1) переписывается так:

$$m_x g 4d = 3mg 2d - 0,5 m_1 g 5d.$$

Следовательно, $m_x = \frac{(6m - 2,5m_1)}{4} = 25$ г.

Ответ : 25 г.

Задача 3. Какова должна быть масса груза, подвешенного к рычагу массой 200 г, чтобы он оставался в равновесии (рис. 5.31, a)? Груз, находящийся в воде, изготовлен из стали и имеет объем 50 см^3 . Плотность стали $7,8 \text{ г/см}^3$, а воды 1 г/см^3 .

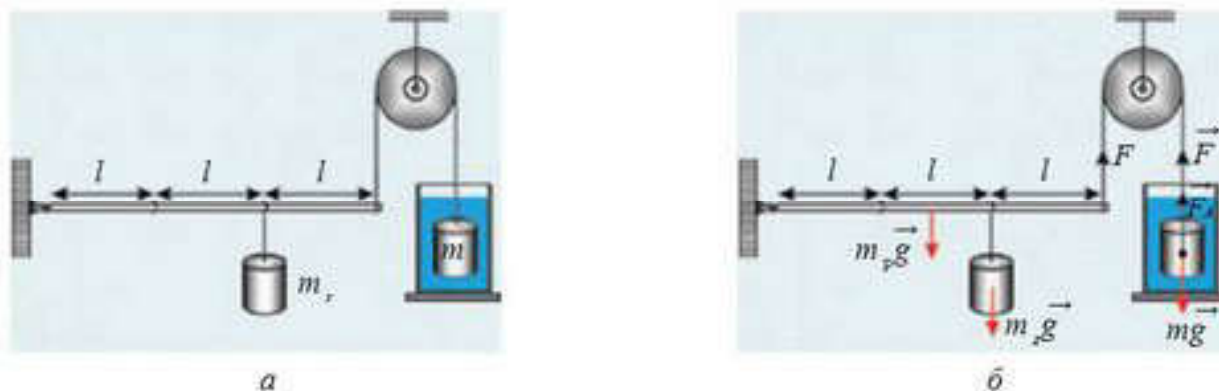


Рис. 5.31

Решение. Расставим силы, действующие на рычаг (рис. 5.31, б), и запишем условие равновесия рычага:

$$m_p g 1,5 l + m g 2l - Fl = 0. \quad (1)$$

Силу натяжения нити найдем, записав условие равновесия стального груза (рис. 5.31, б): $F + F_A = mg$.

Масса стального груза и сила Архимеда соответственно равны:

$$m = \rho V \text{ и } F_A = \rho_0 g V.$$

Тогда $F = (\rho - \rho_0)gV$. С учетом этого формула (1) переписывается так:

$$m_p g 1,5 l + m g 2l - 3(\rho - \rho_0)gV = 0.$$

Отсюда:

$$m_p = \frac{(3(\rho - \rho_0)V - 1,5 m_p)}{2} = 360 \text{ г.}$$

Ответ : 360 г.



1 На рычаг длиной 80 см действует сила 5 Н. Рассчитайте момент этой силы, если плечо ее действия равно 20 см. (1 Н · м)

2 Груз поднимают с помощью подвижного блока (рис. 5.32). Как направлены моменты сил, действующие на груз и нить относительно точки А?

3 Какова должна быть масса груза, подвешенного к нити, перекинутой через неподвижный блок (рис. 5.33), чтобы невесомый рычаг оставался в равновесии? (14 м)

4 С помощью механизма (рис. 5.34) поднимают груз весом 420 Н, прикладывая к нити силу $F = 120$ Н. Какова масса балки? Балка при подъеме остается в горизонтальном положении. (60 Н)



Рис. 5.32

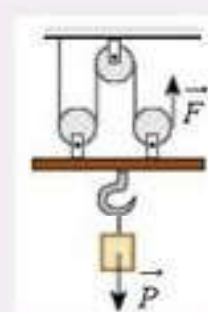


Рис. 5.33

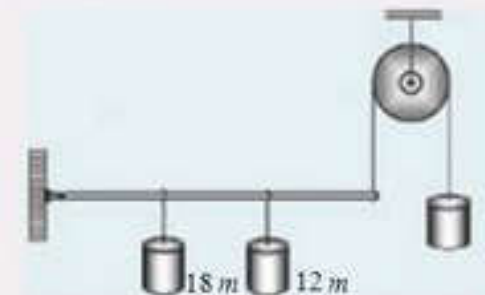


Рис. 5.34



Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

Цель работы: экспериментально проверить условие равновесия тела.

Оборудование: штатив, рычаг, набор грузов, линейка, динамометр.

Задание 1.

Ход работы:

1. Соберите экспериментальную установку (рычаг 1-го рода, рис. 5.35).
2. Уравновесьте рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он расположился горизонтально.
3. Подвесьте два груза на левой части рычага на расстоянии, равном примерно 10—15 см от оси вращения. Опытным путем установите, на каком расстоянии вправо от оси вращения надо подвесить один груз, три груза.
4. Результаты измерений занесите в таблицу.

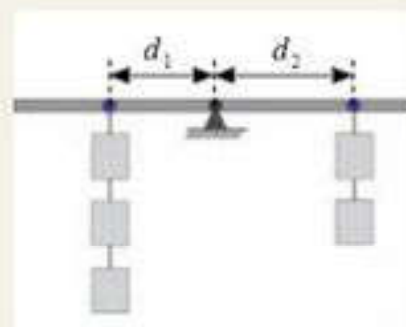


Рис. 5.35

№	Слева от оси			Справа от оси				
	Масса, m_1 , кг	Сила, действующая на левую часть рычага, F_1 , Н	Плечо рычага, d_1 , м	Момент, M_1 , Н·м	Масса, m_2 , кг	Сила, действующая на правую часть рычага, F_2 , Н	Плечо рычага, d_2 , м	Момент, M_2 , Н·м
1								
2								
3								

5. Проверьте справедливость правила моментов $M_1 = M_2$.
6. Оцените, с какой точностью выполняется правило моментов. Для этого найдите разность моментов и отношение этой разности к среднему значению момента.
7. Изобразите графически и проверьте правило моментов.
8. Сделайте вывод.

Лабораторная работа

Задание 2.

Ход работы:

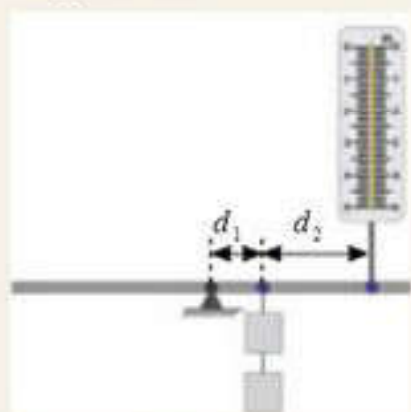


Рис. 5.36

1. Соберите экспериментальную установку (рычаг 2-го рода).
2. Подвесьте два или три груза на правой части рычага на расстоянии, равном примерно 5—10 см от оси вращения. Прикрепив динамометр к рычагу (рис. 5.36), установите рычаг в горизонтальное положение.
3. Определите значение силы.
4. Результаты измерений занесите в таблицу.
5. Повторите эксперимент несколько раз, изменяя расположение груза (массу груза).
6. Результаты измерений занесите в таблицу.

№ опыта	Масса, m_1 , кг	Сила, F_1 , Н	Плечо рычага, d_1 , м	Момент, M_1 , Н·м	Сила, F_2 , Н	Плечо рычага, d_2 , м	Момент, M_2 , Н·м
1							
2							
3							

7. Проверьте справедливость правила моментов $M_1 = M_2$.
8. Оцените, с какой точностью выполняется правило моментов. Для этого найдите разность моментов и отношение этой разности к среднему значению момента.
9. Сделайте вывод.

§ 39. Коэффициент полезного действия простых механизмов. “Золотое правило” механики

На этом уроке вы:

- узнаете, в чем смысл “золотого правила механики”;
- научитесь определять КПД простых механизмов.



Ключевые слова:

- ✓ коэффициент полезного действия (КПД)
- ✓ полезная работа
- ✓ затраченная работа

С помощью простых механизмов можно совершать механическую работу по подъему и перемещению грузов. Однако какой бы механизм ни взяли, каждый из них совершает работу по преодолению различных сил сопротивления или трения. Поэтому на практике полезная работа любого реального механизма всегда меньше его полной (или *затраченной*) работы ($A_{\text{п}} < A$).

Для характеристики эффективности механизма введена особая физическая величина, которая называется **коэффициентом полезного действия механизма (КПД)**. КПД обозначают греческой буквой η (“эта”).

КПД показывает, какая часть от затраченной работы идет на полезную работу.

Обычно КПД выражают в процентах.

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%. \quad (39.1)$$

Под *полезной работой* понимают такую работу, на совершение которой затрачивался бы минимум энергии.

Под *затраченной (совершенной) работой* понимают всю работу, произведенную в ходе процесса.

КПД любых механизмов всегда меньше 100%, поэтому невозможно построить механизм, который всю полученную энергию превращал бы в полезную работу. Потери энергии в механизме неизбежны.

КПД рычага. Рассчитаем КПД рычага. Нам необходимо, используя рычаг, поднять груз массы m на высоту h , находящийся на коротком плече рычага d_1 . К длинному плечу d_2 прикладываем силу F . При подъеме груза длинное плечо опустится на высоту h_2 , груз же поднимется на высоту h_1 (рис. 5.37).

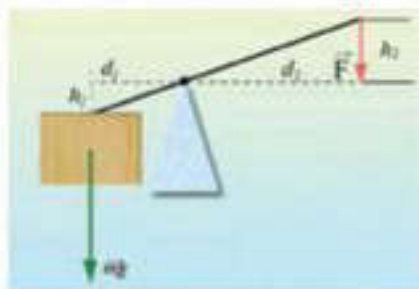


Рис. 5.37

Полезная работа — это работа по подъему груза. Она равна: $A_n = mgh_1$.

Затраченная работа — это работа, совершенная силой F : $A_z = Fh_2$.

Тогда КПД рычага равен:

$$\eta = \frac{mgh_1}{Fh_2} \cdot 100\%. \quad (39.2)$$

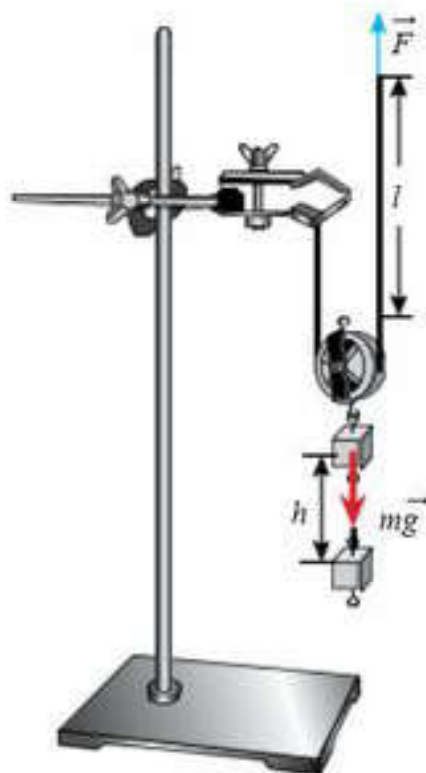


Рис. 5.38

КПД подвижного блока. Рассчитаем КПД подвижного блока. Обратимся к рис. 5.38. Сила F , действующая вдоль нити, совершает работу по подъему груза массой m на высоту h . Но ведь придется поднимать и сам блок, масса которого равна $m_{\text{бл}}$, и преодолевать силу трения.

Полезная работа — это работа по подъему груза. Она равна: $A_n = mgh$.

Затраченная работа — это работа, совершенная силой F : $A_z = Fl$.

Эксперимент показывает, что свободный конец нити проходит расстояние $l = 2h$, где h — высота, на которую поднят груз.

$$A_z = F \cdot 2h.$$

Тогда КПД подвижного блока равен:

$$\eta = \frac{mgh}{F \cdot 2h} \cdot 100\% = \frac{mg}{2F} \cdot 100\%. \quad (39.3)$$

КПД неподвижного блока. КПД неподвижного блока равен:

$$\eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\%.$$

В случае неподвижного блока высота h , на которую поднимается груз, равна расстоянию, которое пройдет свободный конец нити l , т. е. $l = h$. Тогда получим, что КПД неподвижного блока равен:

$$\eta = \frac{mgh}{Fh} \cdot 100\% = \frac{mg}{F} \cdot 100\%. \quad (39.4)$$

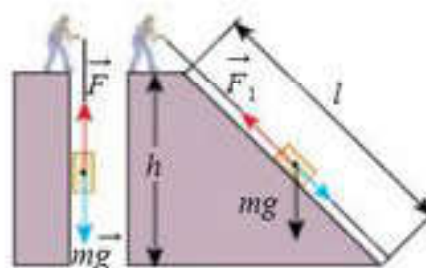


Рис. 5.39

КПД наклонной плоскости. Рассчитаем КПД наклонной плоскости. Обратимся к рис. 5.39. Из него видно, что полезная работа равна $A_n = mgh$, а затраченная $A_z = F_1 l$. Тогда КПД наклонной плоскости будет равен:

$$\eta = \frac{mgh}{F_1 l} \cdot 100\%. \quad (39.5)$$

Как показывает многовековая практика и как видно из наших рассуждений и расчетов, ни один из механизмов не дает выигрыша в работе.

Если учитывать работу против силы трения, то проиграем в работе, так как не сможем избавиться от трения.

Если не учитывать силу трения, т. е. в идеальном случае, полезная и затраченная работы будут одинаковые. Тогда можно написать:

$$A_1 = A_2, \text{ или } F_1 l_1 = F_2 l_2, \text{ или } \frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}. \quad (39.6)$$

Используются различные механизмы для облегчения работы человека: в одних случаях целесообразно получить выигрыш в силе, в других — в пути.

Итак, для использования простых механизмов установлено следующее: **во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии**. Это правило было открыто еще древними учеными и названо “золотым правилом” механики.



1. Что вы понимаете под “коэффициентом полезного действия”?
2. По какой формуле рассчитывают КПД механизмов?
3. Какая работа называется “полезной”, а какая — “затраченной”?
4. Можно ли построить механизм, КПД которого будет равен: а) 75%; б) 120%?
5. Как рассчитать КПД рычага?
6. Как рассчитать КПД неподвижного блока?
7. Как рассчитать КПД подвижного блока?
8. Как рассчитать КПД наклонной плоскости?
9. Сформулируйте “золотое правило” механики.



1 С помощью рычага груз массой 20 кг равномерно подняли на высоту 80 см. При этом длинное плечо рычага, к которому приложена сила 120 Н, опустилось на 2 м. Каков КПД рычага? (67%)

2 Какая сила потребуется для равномерного подъема груза массой 200 кг по наклонной плоскости, КПД которой 65%? Высота наклонной плоскости 1,2 м, а длина 16 м. (231Н)

3 С помощью подвижного блока, КПД которого 50%, груз массой 45 кг подняли на высоту 12 м. Определите величину

силы, приложенной к концу троса. (450 Н)

4 Каков КПД подвижного блока, с помощью которого равномерно поднимают груз массой 70 кг, действуя на веревку силой 400 Н? (87,5 Н)

5 С помощью рычага подняли груз массой 12 кг на высоту 30 см. Длинное плечо рычага в 8 раз больше короткого. Какую силу надо приложить к большому плечу, если КПД рычага 80%? На сколько опустится при этом конец длинного плеча? (18,75 Н, 2,4 м)

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

Цель работы: научиться рассчитывать КПД наклонной плоскости.

Убедиться на опыте в том, что полезная работа, выполненная с помощью простого механизма (наклонной плоскости), меньше полной.

Установить зависимость КПД наклонной плоскости от массы поднимаемого по наклонной плоскости тела.

Установить зависимость КПД наклонной плоскости от угла наклона плоскости (высоты наклонной плоскости при неизменной длине наклонной плоскости).

Оборудование: доска, динамометр, измерительная линейка, брусок, штатив с муфтой и лапкой, набор грузов известной массы.

Задание 1. Определение КПД наклонной плоскости.

Ход работы:

1. Установите доску наклонно.
2. Измерьте высоту h и длину l наклонной плоскости.
3. Динамометром измерьте силу тяжести (mg), действующую на брусок.
4. Прицепив к бруску динамометр, равномерно двигайте брусок вверх по наклонной плоскости. Измерьте силу тяги $F_{\text{тяги}}$.
5. Вычислите $A_{\text{пол.}} = mgh$ и $A_{\text{затр.}} = F_{\text{тяги}} \cdot l$.
6. Вычислите КПД наклонной плоскости $\eta = \frac{mgh}{F_{\text{тяги}} \cdot l}$.
7. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
8. Повторите опыт, используя дополнительные грузы (не изменяя высоты наклона доски).
9. Результаты всех измерений и вычислений занесите в таблицу.
10. Используя результаты таблицы, сделайте вывод.

№ опыта	h , м	l , (м)	mg , Н	$F_{\text{тяги}}$ (Н)	$A_{\text{пол.}}$, Дж	$A_{\text{затр.}}$, Дж	η
	0,2	0,5					
	0,2	0,5					
	0,2	0,5					



Задание 2. Установление зависимости КПД наклонной плоскости от угла наклона плоскости к горизонту.

Ход работы:

1. Установите доску наклонно.
2. Измерьте высоту h и длину l наклонной плоскости.
3. Динамометром измерьте силу тяжести (mg), действующую на брусок.
4. Прицепив к бруску динамометр, равномерно двигайте брусок вверх по наклонной плоскости. Измерьте силу тяги $F_{\text{тяги}}$.
5. Вычислите $A_{\text{полз.}} = mgh$ и $A_{\text{затр.}} = F_{\text{тяги}} \cdot l$.
6. Вычислите КПД наклонной плоскости $\eta = \frac{mgh}{F_{\text{тяги}} \cdot l}$.
7. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
8. Изменяя высоту наклонной плоскости, повторите пункты 1—8.
9. Используя результаты таблицы, сделайте вывод.

№ опыта	h , м	l , (м)	mg , Н	$F_{\text{тяги}}$ (Н)	$A_{\text{полз.}}$, Дж	$A_{\text{затр.}}$, Дж	η
	0,1	0,5					
	0,15	0,5					
	0,20	0,5					
	0,25	0,5					
	0,3	0,5					
	0,35	0,5					

Самое важное в главе

“Работа и мощность. Энергия”

Работа	Мощность	Энергия
Физическая величина, прямо пропорциональная силе, действующей на тело, и пути, пройденному им в направлении действия силы.	Физическая величина, определяемая работой, совершаемой за единицу времени.	Является мерой способности тела совершать работу.



Закон сохранения механической энергии: в отсутствии сил трения механическая энергия системы тел не изменяется: $E_k + E_p = \text{const}$.

Коэффициент полезного действия механизма: отношение полезной работы к полной (затраченной) работе: $\eta = \frac{A_p}{A_z} \cdot 100\%$.

“Золотое правило” механики: во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.

Космос и Земля

Величественный покой усыпанного звездами ночного неба всегда производит глубокое впечатление на человека. Время от времени можно невооруженным глазом наблюдать такие события, как взрыв звезды или падение метеорита.

Что мы знаем о Вселенной?

Со времен древних греков люди думали, что Земля покоится в центре Вселенной, а Солнце и планеты вращаются вокруг нее.

В середине XVI столетия польским астрономом Николаем Коперником была предложена гелиоцентрическая модель мира. Теория Н. Коперника была развита многими учеными.

Что мы сейчас знаем о планетах Солнечной системы?

Луна — единственный естественный спутник Земли. Таинственная, манящая Луна всегда порождала неисчислимое множество догадок и вопросов. Что нам о ней известно?

В зависимости от своих традиций, образа жизни и религиозных представлений люди в древности разработали различные типы календарей: лунные, лунно-солнечные и солнечные. Пользуясь календарем, вряд ли кто задумывается, как они были созданы.

В календаре, принятом Международным сообществом, есть високосные годы.

На каком основании определяются эти годы?





§ 40. Наука о небесных телах



Ключевые слова:

- ✓ астрономия
- ✓ геоцентрическая система мира
- ✓ гелиоцентрическая система мира



На этом уроке вы:

- узнаете, что изучает астрономия;
- научитесь сравнивать геоцентрическую и гелиоцентрическую системы мира.

Одна из увлекательных областей знаний о Вселенной — *астрономия*. Астрономия изучает явления, происходящие с небесными телами. К небесным телам относятся звезды, планеты, спутники планет, астероиды, кометы, метеориты.

С начала развития человеческого общества люди научились ориентироваться по звездам и вести счет времени по изменению положения звезд и Солнца. Эта практическая потребность изучения звездного неба привела к зарождению науки — астрономии. Слово *астрономия* происходит от двух греч. слов: *астро* — “звезда” и *номос* — “закон”.

Древнегреческие мыслители, пытаясь представить себе строение Вселенной, объяснить видимое движение небесных светил и определить их положение на небе, создали *геоцентрическую систему мира* (от греч. *гео* — “земля”).

Согласно этой системе, центром Вселенной считалась неподвижная Земля, а все небесные светила — обращающимися вокруг нее. Такой взгляд на строение мира в те далекие времена был вполне закономерен, так как непосредственно вытекал из наблюдений.

Наиболее полно геоцентрическая система мира была разработана во II в. н. э. в трудах греческого ученого Клавдия Птолемея (70—147 гг. н. э.). Птолемей утверждал, что Солнце и Луна равномерно движутся вокруг Земли с запада на восток по большим кругам — *деферентам* (от лат. *деферанс* — “несущий”). Система мира Птолемея продержалась почти два тысячелетия (рис. 6.1).

Наблюдая движение небесных тел, польский астроном Николай Коперник в середине XVI столетия пришел к выводу, что теория Птолемея неверна. После 30 лет упорного труда, долгих наблюдений и сложных математических расчетов им была предложена гелиоцентрическая модель мира.

Система мира, в центре которой расположено Солнце, называется *гелиоцентрической* (от греч. *гелиос* — Солнце).

Коперник считал, что наблюдателю, находящемуся на Земле, кажется, что Земля неподвижна, а Солнце движется вокруг нее. На самом же деле это Земля движется вокруг Солнца и в течение года совершает полный оборот по своей орбите. Вокруг Земли движется только Луна.

На рис. 6.2 приведена схема гелиоцентрической системы по Копернику.

В центре Вселенной располагается Солнце. Внешняя сфера состоит из неподвижных звезд, а внутренние сферы совершают сложные равномерные вращения, увлекая связанные с ними планеты и Луну в следующем порядке: Меркурий, Венера, Земля с Луной, Марс, Юпитер, Сатурн.

По повторяющимся на небе расположениям планет относительно Солнца Коперник вычислил их расстояние от него, приняв за единицу измерения расстояние от Земли до Солнца (1 астрономическая единица — 1 а. е. = 149,6 млн. км): Меркурий — 0,4 а. е.; Венера — 0,7 а. е.; Земля — 1 а. е.; Марс — 1,5 а. е.; Юпитер — 5 а. е.; Сатурн — 10 а. е.

Теорию Н. Коперника развили такие ученые, как Тихо Браге, Джордано Бруно, Галилео Галилей, Иоганн Кеплер, Исаак Ньютон. И. Кеплер на основании теории Н. Коперника открыл истинные законы движения небесных тел. И. Ньютон вывел закон всемирного тяготения.

В настоящее время известно, что в Солнечную систему входят восемь планет со своими спутниками: Меркурий, Венера, Земля,



Рис. 6.1



Рис. 6.2



Рис. 6.3



Рис. 6.4



Николай Коперник
(1473—1543 гг.)

Знаменитый польский ученый, чьи открытия фундаментально изменили представление человечества о мироустройстве и стимулировали развитие многих наук.

Является автором гелиоцентрической системы мира.

Марс, Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун. Они движутся по эллиптическим орбитам.

Гелиоцентризм открыл дорогу звездной астрономии (звезды — далекие солнца) и космологии бесконечной Вселенной.

При выполнении астрономических наблюдений используются различные приборы. Основным астрономическим прибором является телескоп (от греч. *теле* — “вдаль” и *скопео* — “смотрю”). Он позволяет получить сведения о Солнце, Луне и планетах (рис. 6.3).

В настоящее время наблюдения за астрономическими объектами ведутся с помощью космических аппаратов. Стремительно летящие в сотнях километров от земной поверхности орбитальные космические станции вносят огромный вклад в освоение ближнего и исследование дальнего космоса (рис. 6.4). Благодаря космическим аппаратам, осуществлены посадки на Луну, на планеты Марс и Венера, сфотографировано и исследовано большинство планет Солнечной системы.



1. Какая система называется “геоцентрической системой мира”?
2. Какая система называется “гелиоцентрической системой мира”?
3. Какие наблюдения доказывают, что Земля движется вокруг Солнца?

§ 41. Солнечная система

На этом уроке вы:

- узнаете об объектах Солнечной системы;
- усвоите строение Солнечной системы.



Ключевые слова:

- ✓ Солнечная система
- ✓ Млечный путь
- ✓ астероиды
- ✓ кометы
- ✓ метеоры

Солнечная система — совокупность небесных тел, движущихся вокруг Солнца (рис. 6.5).

Солнечная система представляет собой лишь малую часть большой Галактики под названием *Млечный Путь*, в которой размещается более 100 млрд. различных звезд.

В Солнечную систему входят восемь больших планет со своими спутниками, свыше 2300 малых планет (астероидов), множество комет и метеорных тел (каменной самых разнообразных размеров) и потоки мелкой пыли (метеорные рои). Солнечная система сформировалась путем гравитационного сжатия газопылевого облака примерно 4,57 млрд. лет назад. Большая часть массы объектов Солнечной системы приходится на Солнце; остальная часть содержится в восьми относительно уединенных планетах и других небесных телах.

Планеты представляют собой темные шарообразные тела, сопоставимые по размерам с Землей. Планеты видны потому, что освещаются Солнцем. Более близкие к Солнцу планеты земной группы — Меркурий, Венера, собственно сама Земля и Марс, далекие планеты — Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун.

Меркурий — самая близкая к Солнцу планета Солнечной системы. Меркурий имеет диаметр 4880 км, массу — 0,056 массы Земли и не имеет атмосферы.

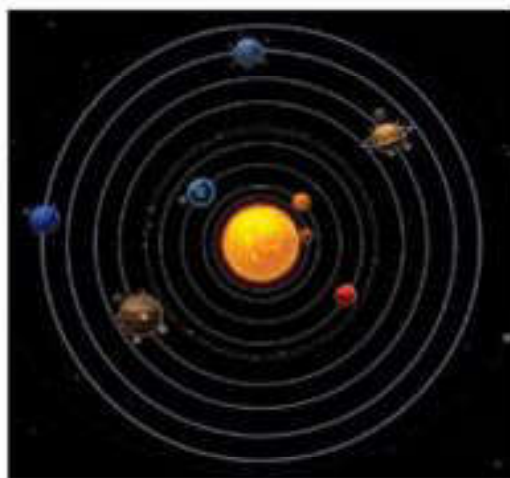
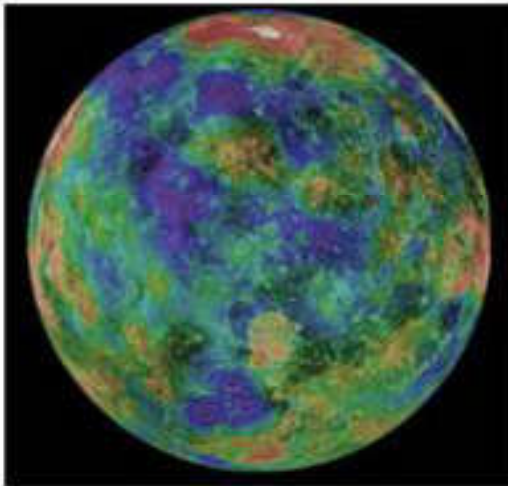


Рис. 6.5



Меркурий



Венера



Земля

Солнечные сутки на Меркурии длятся 176 земных суток. Меркурий считается одним из самых малоизученных небесных тел Солнечной системы. Эту планету трудно изучать, потому что она большей частью теряется в лучах Солнца. Меркурий виден утром и вечером.

Венера — вторая от Солнца планета. Утром и вечером она видна невооруженным глазом, как звезда-красавица. Венера по своим характеристикам похожа на Землю, но по размеру и массе немного лишь уступает ей.

Поверхность Венеры скрыта от нас мощным слоем облаков. Космические станции, совершившие мягкую посадку на ее поверхность, показали, что атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа, температура поверхности около 500 °С.

Наша планета Земля — третья от Солнца планета и пятая по массе. На Земле есть жизнь, достигшая разума, поэтому она является уникальнейшей во всей наблюдаемой Вселенной. Вопрос о наличии жизни где-либо, кроме Земли, остается открытым.

Земля окружена атмосферой, состоящей в основном из азота и кислорода. Углекислого газа в атмосфере всего 0,03%. Земля имеет форму чуть приплюснутого шара со средним радиусом $R = 6378$ км.

У Земли есть один естественный спутник — Луна. Луна является единственным астрономическим объектом вне Земли, на котором побывал человек. Среднее расстояние между центрами Земли и Луны 384 467 км. Период обращения Луны вокруг Земли называется *сидерическим месяцем*.

Масса Луны в 81,3 раза меньше массы Земли. Луна лишена воды и атмосферы. За продолжительный лунный день поверхность Луны нагревается до температуры +130 °С, а ночью охлаждается до -170 °С.

Марс — четвертая от Солнца планета. С Земли он виден как светило с отчетливо красноватым оттенком. Марс имеет два естественных спутника — Фобос и Деймос. Эти спутники видны лишь в большие телескопы.

Марс является наиболее изученной из планет земной группы, имеет диаметр 6786 км. На его поверхность неоднократно совершали мягкую посадку космические станции. На Марсе бесконечные пески и дюны, перемежающиеся каменистыми россыпями и метеоритными кратерами. Есть и горные цепи, но нет самого главного — ни малейших следов живых организмов.

Марсианские сутки удивительно похожи на земные — 24 ч 39 м 29 с, а вот год длится почти вдвое больше, примерно 687 земных суток.

Среднегодовая температура поверхности Марса близка к -70°C . Но вблизи экватора днем она повышается до $+20 \dots +25^{\circ}\text{C}$, к заходу Солнца снижается до -10°C и ниже, а под утро падает до -90°C .

Четыре внешние планеты Солнечной системы — Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун, называемые *газовыми гигантами*, — более массивны, чем планеты земной группы.

Юпитер — громадная планета. Его масса в 318 раз больше массы Земли. Вокруг Юпитера вращается многочисленная семья спутников. Четыре из них — Ио, Европа, Ганнимед и Каллисто — самые крупные, сравнимые по размерам с Луной, а остальные имеют от 10 до 280 км и неправильную форму.

Сатурн — планета с большим кольцом. Она более других планет-гигантов похожа на Юпитер. Ее масса в 95 раз, а радиус в 9,5 раза превышает земные.

У Сатурна обнаружено много спутников, среди которых самый большой — Титан. Охватывающие планету кольца в основном состоят из частичек льда, крупинок горных пород и пыли.



Марс



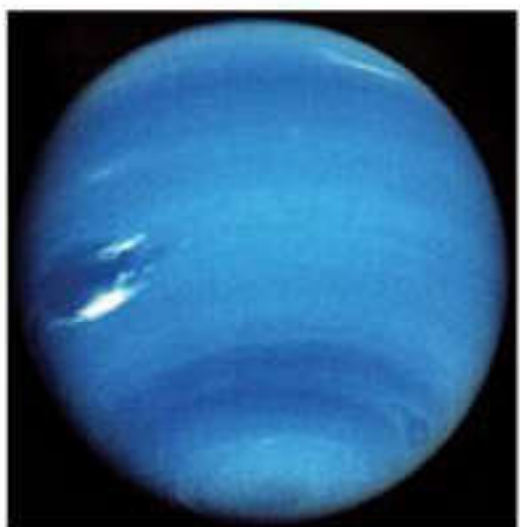
Юпитер



Сатурн



Уран



Нептун



Плутон

Уран и Нептун по своим физическим свойствам являются близнецами. Температура видимой поверхности Урана равна -150°C , а Нептуна -170°C . Обе планеты имеют кольца, но не столь яркие, как у Сатурна.

Карликовая планета Плутон со времен своего открытия — 1930 г. и до 2006 г. считалась планетой. Позже во внешней части Солнечной системы было открыто множество небесных тел, сопоставимых по размерам с Плутоном и даже превышающих его. Во избежание путаницы ему было дано новое название — *карликовая планета*. Масса Плутона составляет около 0,0015 массы Земли, это примерно в 5 раз меньше массы Луны, а радиус — 1100 км. В 1978 г. у Плутона был открыт спутник, названный *Хароном*.

Астероиды — сравнительно небольшие твердые тела, их размеры не превышают сотню километров. В подавляющем большинстве они неправильной формы. Астероиды вращаются вокруг Солнца, двигаясь в ту же сторону, что и большие планеты. Они образуют между орбитами Марса и Юпитера широкое кольцо, или *пояс астероидов*.

Кометы — небесные светила, которые получили свое название от греч. слова *кометас* — “хвостатая” или “косматая” (звезда). Действительно, яркие кометы, видимые невооруженным глазом, имеют хвост протяженностью в несколько миллионов и даже десятки миллионов километров. Такие кометы появляются сравнительно редко, в среднем одна комета за 10—15 лет, а слабые — часто.

На больших расстояниях от Солнца кометы представляют собой глыбы твердого вещества из льда, застывших газов и пыли. При приближении к Солнцу лед начинает таять и испаряться, вокруг ядра кометы образуется протяженная оболочка — *кома*. Под действием солнечного света и ветра часть газов комы отталкивается в сторону, противоположную Солнцу, образуя хвост кометы.

Метеоры (от греч. *метеорос* — “парящий в воздухе”) вспыхивают в земной атмосфере при вторжении в нее извне мельчайших твердых частиц. Они часто называются *падающими звездами*. В межпланетном пространстве хаотически движется множество таких частиц — *метеорных тел*, или *микрометеоритов*. Помимо отдельных метеорных частиц, вокруг Солнца вращаются целые их рои — *метеорные потоки*.

В межпланетном пространстве движется множество твердых тел, размер которых варьируется от нескольких сантиметров до десятков метров — *метеороиды*. Выпавшие на Землю метеороиды называются *метеоритами*.

Комета Галлея — самая яркая короткопериодическая комета. Она возвращается к Солнцу каждые 75—76 лет. Эта комета названа так в честь первого исследователя комет английского ученого Эдмунда Галлея (1656—1742), который предсказал ее появление.

Комета наблюдалась 31 раз. Первое прохождение кометы Галлея относится к 240 г. до н. э., последнее — в феврале 1986 г.; следующее ожидается в середине 2061 г.





Самый крупный железный метеорит Гоба найден на территории Намибии. Он упал предположительно 80 тыс. лет назад. Метеорит имеет размеры $3 \cdot 3 \cdot 1 \text{ м}^3$, массу — 60 т. Он является самым большим на Земле куском железа природного происхождения.

На месте падения крупных метеоритов на Земле образуются метеоритные кратеры. Они обнаружены в Аризоне (США), Канаде, на Таймыре (Россия) и в других местах. У Аризонского метеоритного кратера диаметр — 1207 м, глубина — 174 м.



1. Какая из планет земной группы имеет наименьшие размер и массу?
2. Когда можно наблюдать Меркурий и Венеру?
3. Перечислите основные объекты, входящие в состав Солнечной системы.
4. Какая из планет-гигантов имеет максимальные размер и массу?
5. Что представляют собой астероиды?
6. Почему у кометы появляется хвост?
7. Где в Солнечной системе расположены орбиты астероидов?
8. Дайте характеристику каждой из планет Солнечной системы.



- 1 Найдите на вечернем небе Венеру, Марс, Юпитер и Сатурн.
- 2 Используя школьный телескоп, отыщите на небе изученные планеты.



- 1 Перечислите основные сходства планет земной группы.
- 2 Используя закон всемирного тяготения, вычислите массу Земли, зная, что $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. ($6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$)

§ 42. Основы календаря (сутки, месяц, год)

На этом уроке вы:

- узнаете основы возникновения календаря;
- научитесь объяснять смену времен года, длительность дня и ночи на разных широтах.



Ключевые слова:

- ✓ календарь
- ✓ синодический месяц
- ✓ григорианский календарь
- ✓ юлианский календарь

Календарь — система счета больших промежутков времени, основанная на видимых движениях небесных тел. Циклическое движение таких астрономических объектов, как Солнце, Земля и Луна имеет главное значение для построения и понимания календарей. Основными задачами календаря являются фиксация дат и измерение интервалов времени.

*Слово календарь пришло к нам от древних римлян. Оно произошло от лат. слова *calendarius* — "долговая книга". Это связано с тем, что в Древнем Риме начало месяца провозглашалось особо как день календ. В день календ (*kalendae, календы*) было принято уплачивать проценты по долгам. Так, первое января римляне называли "*Calendae Januariarum*".*

Вращение Земли вокруг своей оси определяет длительность суток, обращение Луны вокруг Земли дает продолжительность лунного месяца, а Земли вокруг Солнца — задает солнечный год.

Год равен периоду обращения Земли вокруг Солнца (примерно 365,25 суток), месяц — между двумя новолуниями (период обращения Луны вокруг Земли), который называется **синодическим месяцем**. Продолжительность его в среднем составляет 29,53059 суток, поэтому календарный месяц содержит 29 или 30 дней.

Родиной первого лунного календаря считается Вавилон. Появился он примерно в середине III тысячелетия до н. э. в Шумере.

Первоначально год состоял из 12 месяцев.

Каждый месяц календаря начинался с новолуния и состоит из 29 или 30 дней.

Сутки делились на 12 равных двойных часов, которые, в свою очередь, разделялись на 30 частей (минут).

Такой выбор единиц обусловлен как историческими, так и практическими соображениями: необходимостью согласовывать деятельность людей со сменой дня и ночи или сезонов.

Ось вращения Земли расположена под углом $66,5^\circ$ к плоскости ее движения вокруг Солнца. Вследствие этого происходят периодические ежегодные изменения освещенности Северного и Южного полушарий Земли, что приводит к смене времен года. К тому же в течение года продолжительность дня и ночи все время меняется.

На протяжении многих веков разными народами было изобретено множество видов календарей: *лунные, звездные, солнечные и лунно-солнечные.*

Древние египтяне изобрели самый удачный календарь, являющийся древнейшим солнечным календарем.

Сначала они разделили год на 12 месяцев, по 30 дней в каждом. Позже добавили в календарь еще 5 дней. Итого в году стало 365 дней. Египетский солнечный календарь послужил образцом для других календарей.

В исламском календаре ("хиджра" — календарь) основой является лунный синодический месяц ("хиджра" с арабск. — "переселение"), переселение Мухаммеда и его приверженцев из Мекки в Медину).

Летосчисление по хиджре соответствует пятнице 16 июля 622 г. по юлианскому календарю. Начало месяца приходится на день, когда серп луны становится видимым после новолуния.

Год хиджры стал первым годом исламского календаря. Год содержит строго 12 лунных месяцев, т. е. около 354 дней, что на 11 дней меньше тропического года. В связи с этим все мусульманские праздники каждый год смещаются относительно григорианского календаря на 10—11 дней.

Исламский календарь — официальный календарь Саудовской Аравии и стран Персидского залива.

История современного календаря (старый стиль) начинается с 1 января 45 г. до н. э. Календарь был введен императором Древнего Рима Юлием Цезарем. Согласно *юлианскому календарю*, длительность среднего года принята равной 365, 25 суток, каждый 4-й год является високосным, т. е. содержит 366 дней, а не 365, как обычный. Этот календарь отстает от солнечного на 1 сутки за 128 лет, т. е. примерно на 3 суток за 400 лет. Это отставание было учтено в григорианском календаре (новый стиль).

Григорианский календарь был принят *Международным сообществом* и был введен *папой Григорием XIII* в 1582 г. К этому времени дата весеннего равноденствия сместилась примерно на 10 дней.

Римский папа, чтобы день весеннего равноденствия приходился на 21 марта, пропустил из 1582 г. 10 дней, т. е. вслед за 4 октября наступило сразу 15 октября.

В григорианском календаре длительность *тропического* года принимается равной 365,2425 суток.

Год тропический — время от одного зимнего солнцестояния до другого (или между равноденствиями). Так как тропический год не равен целому количеству солнечных суток (365,2422), для синхронизации календарных времен года с астрономическими используются високосные годы. Календарь содержит 97 високосных лет на 400 лет. Длительность невисокосного года — 365 суток, високосного — 366.

В 1918 г. в России, а затем в бывшем Советском Союзе был принят григорианский календарь. К тому времени разница между календарями старого и нового стилей достигла 13 дней, которая сохранится до 2100 г., после чего достигнет 14 суток.

Год делится на двенадцать календарных месяцев разной продолжительности (от 28 до 31 дня). Обычно на каждый календарный месяц выпадает по одному полнолуннию, но так как фазы Луны сменяются немного быстрее, чем 12 раз в году, иногда случаются и вторые полнолуния за месяц.

Неделя, обычно состоящая из 7 дней, не привязана к какому-либо астрономическому событию, однако широко используется как единица времени. Можно считать, что недели формируют независимый календарь, используемый параллельно с различными другими календарями. Предполагают, что продолжительность недели берет начало от округленной до целого числа дней продолжительности одной из четырех фаз Луны.

Основной единицей для измерения коротких интервалов времени являются *сутки* (часто говорят *день*). Земля вращается вокруг своей оси с полным оборотом за сутки. При этом на стороне Земли, обращенной к Солнцу, наступает дневное время суток, а на противоположной — ночное. За начало отсчета времени принята полночь. В результате деления суток на меньшие временные интервалы одинаковой длины возникли часы, минуты и секунды. Происхождение деления связано с двенадцатеричной системой счисления, которой придерживались в древнем Шумере, а затем в Вавилоне. Сутки делили на два равных последовательных интервала — по 12 часов (условно день и ночь). Дальнейшее деление часа восходит к шестидесятеричной системе счисления. Каждый час делили на 60 мин, каждую минуту — на 60 с. Таким образом, в часе 3600 с; в сутках — 24 ч или 86 400 с. Часы, минуты и секунды прочно вошли в наш обиход.



1. Что определяет смену времени года и наличие тепловых поясов на Земле?
2. Какое время определяет тропический год?
3. Что такое "синодический месяц"?
4. Какая неточность возникла в юлианском календаре при его длительном использовании?
5. Известно, что год не состоит из целого числа суток. Какие меры приняты для учета в календарях дробной части суток?



Используя глобус, объясните, как происходит смена времени суток: утро, день, вечер, ночь.

Самое важное в главе

“Космос и Земля”

Гелиоцентрическая система мира — система мира, в центре которой расположено Солнце.



Расстояния планет до Солнца измеряют в астрономических единицах (а. е.).

$$1 \text{ а. е.} = 1,496 \cdot 10^{11} \text{ м.}$$

Планеты Солнечной системы делятся на две большие группы: *планеты земной группы и планеты-гиганты*.

Планеты земной группы имеют меньшие размеры и массы, большие плотности. Они медленнее вращаются вокруг оси и расположены ближе к Солнцу, чем планеты-гиганты.

Планеты-гиганты имеют кольца, много спутников и атмосферы большой плотности.

Планеты Солнечной системы

Планеты земной группы	Планеты-гиганты
Меркурий	Юпитер
Венера	Сатурн
Земля	Уран
Марс	Нептун

Календарь — система счисления больших промежутков времени, основанная на периодичности движения небесных тел.

Приложения

Таблица 1

Плотности твердых веществ

Твердое вещество	ρ		Твердое вещество	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Иридий	22 400	22,4	Гранит	2600	2,6
Платина	21 500	21,5	Стекло	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Фарфор	2300	2,3
Свинец	11 300	11,3	Бетон	2200	2,2
Серебро	10 500	10,5	Кирпич	1600	1,6
Медь	8900	8,9	Парафин	900	0,9
Лагунь	8500	8,5	Лед	900	0,9
Сталь, железо	7800	7,8	Дуб сухой	800	0,8
Олово	7300	7,3	Сосна сухая	440	0,4
Цинк	7100	7,1	Пробка	240	0,2
Алюминий	2700	2,7	Поролон	200—600	0,2—0,6
Мрамор	2700	2,7			

Таблица 2

Плотности жидкостей (при температуре 20°)

Жидкость	ρ		Жидкость	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Ртуть	13 600	13,60	Спирт, керосин	800	0,80
Вода морская	1030	1,03	Нефть	800	0,80
Вода чистая	1000	1,00	Ацетон	790	0,79
Машинное масло	900	0,90	Бензин	710	0,71

Таблица 3

Плотности газов
(при нормальном атмосферном давлении и $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Газ	ρ		Газ	ρ	
	кг/м ³	г/см ³		кг/м ³	г/см ³
Углекислый газ	1,980	0,00198	Угарный газ	1,250	0,00125
Кислород	1,430	0,00143	Водяной пар (при 100 °С)	0,600	0,00060
Воздух (при 0 °С)	1,290	0,00129	Водород	0,090	0,00009

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

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

Предметный указатель

А

архимедова сила 139
 астероиды 194
 астрономия 188
 атмосфера 130
 аэростат 143

Б

барометр 133
 барометр-анероид 134
 блок
 — неподвижный 174
 — подвижный 174

В

ватерлиния 142
 ватт 157
 векторная величина 25
 вес тела 86
 весы 69
 вещество 10
 взаимное притяжение 83
 взаимодействие тел 68
 водный транспорт 142
 воздухоплавание 143
 время 37
 Вселенная 188

Г

геоцентрическая система 188
 гелиоцентрическая система 189
 гидравлические машины 122
 гидравлический пресс 123
 гипотеза 11

Д

давление
 — атмосферное 131
 — газа 115
 — жидкости 115
 — движение 32
 — механическое 33
 — неравномерное 42

— равномерное 43

— планет 191

деформация 90

— пластическая 91

— упругая 91

джоуль (Дж) 156

динамометр 94

дирижабль 143

Ж

жесткость тела 94

жидкость 61

З

закон

— Архимеда 139

— всемирного тяготения 83

— Гука 94

— Паскаля 116

— сохранения механической энергии 165

замкнутая система 160

Земля 192

“золотое правило” механики 181

И

измерительные приборы 21

инертность 68

инерция 79

инструментальная погрешность 22

К

“Картезианский водолаз” 145

коэффициент

— полезного действия 181

— трения 100

кристаллическая решетка 60

Л

Луна 192, 196

М

Марс 192

материальная точка 33
 материя 10
 масса 68
 Международная система единиц (СИ) 17
 Меркурий 191
 метеориты 193
 метрическая система мер 16
 механическая работа 165
 механическое движение 165
 Млечный Путь 191
 молекула 59
 момент силы 170
 мощность 156

Н

наблюдение 11
 наклонная плоскость 182
 насос 136
 научная гипотеза 11
 невесомость 87
 Нептун 193
 ньютон (Н) 83

О

опыт
 — Паскаля 116
 — Торричелли 131

П

паскаль (Па) 112
 перемещение
 планеты 191
 планеты-гиганты 193
 плотность 72
 Плутон 194
 погрешность измерения 21
 подводная лодка 142
 правило моментов 170
 простые механизмы 168
 путь 34

Р

работа
 — механическая 155
 — полезная 181
 — полная 181
 равновес 68
 рычаг 172
 рычажные весы 68

С

Сатурн 193
 сила
 — архимедова 141
 — выталкивающая 141
 — нормального давления 100
 — притяжения 83
 — равнодействующая 104
 — трения 98
 — тяги 100
 — тяжести 84
 — упругости 93
 система координат 36
 система отсчета 37
 скалярная величина 25
 скорость 38
 Солнечная система 191
 сообщающиеся сосуды 119
 стандартная запись числа 23

Т

твердое тело 60
 телескоп 186
 тело
 — аморфное 60
 — кристаллическое 60
 — твердое 60
 тело отсчета 36
 точка опоры
 — приложения силы 89
 точность измерения 21
 траектория движения 33

трение

- качения 30
- покоя 98
- скольжения 100

Ф

физическая теория 13

физические

- явления 9
- величины 16
- приборы 18

физический эксперимент 11

Ц

цена деления 22

Ш

шаг винта 29

шар Паскаля 115

шкала прибора 21

Э

эксперимент 12

энергия

- кинетическая 160
- механическая 165
- потенциальная 160

Ю

Юпитер 193

Я

явления

- тяготения 83
- природные 9

Учебное издание

**Кронгарт Борис Аркадьевич
Токбергенова Узипа Конурбаевна**

ФИЗИКА

Учебник для 7 классов общеобразовательных школ

Редактор *С. Родионова*

Худож. редактор *А. Сланова*

Техн. редактор *Л. Садыкова*

Корректор *Л. Байтенова*

Компьютерная верстка *И. Алмабаевой*

Государственная лицензия № 0000001 выдана издательству
Министерством образования и науки Республики Казахстан
7 июля 2003 года

ИБ № 5595

Подписано в печать 22.05.17. Формат 70x100 ³/₁₆. Бумага офсетная.
Гарнитура "SchoolBook Kza". Печать офсетная. Усл.-печ. л. 16,77+0,32 форзац.
Усл. кр.-отт. 68,96. Уч.-изд. л. 11,01+0,54 форзац.
Тираж 40 000 экз. Заказ №

Издательство "Мектеп", 050009, г. Алматы, пр. Абая, 143
Факс: 8(727) 394-37-58, 394-42-30.
Тел.: 8(727) 394-42-34.
E-mail: mektep@mail.ru
Web-site: www.mektep.kz

