



ФИЗИКА



Н. С. Пурышева, Н. Е. Важеевская

ФИЗИКА



УЧЕБНИК

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

12-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2022

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721

П88

Учебник допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 254 от 20.05.2020 (в редакции приказа № 766 от 23.12.2020).

Издание выходит в pdf-формате.

Пурышева, Наталия Сергеевна.

П88 Физика : 7-й класс : учебник : издание в pdf-формате / Н. С. Пурышева, Н. Е. Важеевская. — 12-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 223, [1] с. : ил.

ISBN 978-5-09-101325-2 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-090619-7 (печ. изд.).

Учебник, написанный по авторской программе, представляет собой основу учебно-методического комплекса по физике для 7 класса. Учебник отличается чётким, лаконичным изложением материала с разделением на смысловые дозы.

Методический аппарат учебника составляют вопросы для самопроверки, система заданий, включающих качественные, графические, вычислительные и экспериментальные задачи и лабораторные работы.

В учебнике предусмотрена уровневая дифференциация: материал, который изучается учащимися, проявляющими интерес к физике, помечен звёздочкой.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту основного общего образования.

УДК 373.167.1:53+53(075.3)

ББК 22.3я721

ISBN 978-5-09-101325-2 (электр. изд.)

ISBN 978-5-09-090619-7 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2021

Все права защищены

Дорогие ребята!

Вы начинаете изучать новый для вас предмет — физику. Физика — это увлекательная наука о природе. Основным методом изучения природных явлений в физике является эксперимент. И для вас эксперимент будет одним из источников знаний. Вы будете наблюдать опыты, которые проводит учитель, самостоятельно выполнять экспериментальные задания в школе и дома.

Другой источник знаний для вас — этот учебник. Новые термины, определения, формулы в тексте выделены **жирным шрифтом**. Их надо запомнить. После того как вы прочитаете материал параграфа, постарайтесь его пересказать, а также ответить на вопросы для самопроверки. Читая учебник, обращайтесь к приведённым в нём рисункам, которые иллюстрируют излагаемый материал. Сопоставляйте рисунок и его описание, это поможет вам лучше понять написанное.

Чтобы убедиться в том, что материал вами понят, выполните задания, приведённые в конце параграфа. Некоторые из них представляют собой вопросы, при ответе на которые нужно объяснить явление или процесс.

Другие задания сформулированы в виде задач, в которых требуется вычислить некоторую физическую величину, используя изученные законы и формулы.

Графические задания предполагают анализ или построение графика.

Есть задания, в которых надо выполнить вычисления.

Включены также и задания экспериментального характера, их выполнение предполагает проведение эксперимента и наблюдений. Такие задания обозначены индексом «э».

В ряде заданий (в основном они индивидуальные) предлагается подготовить сообщение по одному из интересных вопросов физики или техники с использованием дополнительной литературы. Около таких заданий поставлен индекс «д», что означает «доклад».

Материал для тех, кто хочет узнать больше, и задания повышенной сложности помечены звёздочкой.

Желаем вам успехов.

Авторы



Введение

Приступая к изучению основ физики, прежде всего нужно получить ответы на вопросы: что такое физика? Какую область действительности она изучает? Какие методы она при этом использует? Об этом пойдёт речь в данном разделе.

§ 1. Что изучают физика и астрономия

- ✓ Что называют явлениями природы?
- ✓ Какие явления природы вам известны?

1. Природа — это то, что нас окружает: воздух, земля, вода, животные, звёзды, планеты и т. д. Человек живёт среди природы и сам является её частью.

В природе происходят различные изменения. Например, сменяют друг друга времена года, день и ночь; меняют своё положение Солнце, Луна, Земля, звёзды и т. д. (рис. 1). Летом во время дождя часто сверкает молния (рис. 2) и гремит гром; после дождя можно видеть раду, пар, поднимающийся от высыхающей земли или асфальта. Весной распускаются на деревьях почки, осенью желтеют листья; время от времени извергаются вулканы. Эти и другие изменения, происходящие вокруг нас, называют **явлениями природы**. Человек начал изучать явления природы ещё в глубокой древности, что было необходимо для его выживания.



Рис. 1

2. В результате изучения человеком окружающего мира возникла сначала одна наука — натурфилософия, объединившая все имевшиеся знания. Затем, по мере открытия всё новых и новых явлений, выделялись отдельные науки, изучавшие группы близких по природе явлений. Так появились география, биология, химия, физика, астрономия и т. д.

Одной из основных наук о природе является физика. Слово «физика» происходит от греческого слова «фюзис», что значит «природа».

Это слово впервые появилось в сочинении древнегреческого учёного **Аристотеля** (384—322 до н. э.), который более двух тысяч лет назад обобщил известные к тому времени знания о природе. В русский язык слово «физика» ввёл **Михаил Васильевич Ломоносов** (1711—1765).



Рис. 2

3. Что изучает физика? Физика изучает явления природы, а именно *физические явления*. Примерами физических явлений могут служить: движение автомобиля, замерзание воды, свечение лампочки, притяжение магнитом некоторых металлических предметов и др. Физические явления очень разнообразны: к ним относятся механические, тепловые, электрические, магнитные, световые, звуковые явления.

Физические явления происходят с теми или иными объектами. В приведённых выше примерах ими являлись автомобиль, спираль электрической лампочки. Эти объекты называют **физическими телами** или просто телами.

Тела состоят из **вещества**. Например, стеклянный стакан — физическое тело, стекло — вещество; капля воды — физическое тело, а вода — вещество.

Вещество является одним из видов материи. **Материя** — это то, что существует объективно, независимо от нашего сознания. Окружающий нас мир *материален*.

Вам хорошо известны *биологические* явления, происходящие с объектами живой природы (рост растений, развитие животных и др.), *химические*, связанные с изменением состава вещества (окисление металла, образование хлорофилла в листьях и др.). Физические, химические и биологические явления связаны между собой. Так, развитие растения — явление биологическое, и происходит оно в результате питания растения и обмена веществ. При этом движение питательных веществ представляет собой физическое явление и объясняется физическими законами, а обмен веществ обусловлен химическими процессами.

Физика, помимо явлений, изучает свойства тел и веществ. Очень важно знать, какие вещества проводят электричество, а какие — нет; какое вещество лучше использовать для теплоизоляции, каким веществом покрыть экран телевизора или монитора. Итак,

физика — одна из наук о природе, изучающая физические явления и свойства тел и веществ.

4. Астрономия, как и физика, — одна из древнейших наук о природе. С начала развития человеческого общества у людей возникла необходимость ориентироваться, чтобы найти дорогу к своему жилищу, к местам охоты и т. п. По мере развития земледелия появилась потребность в отсчёте времени для регулирования сель-

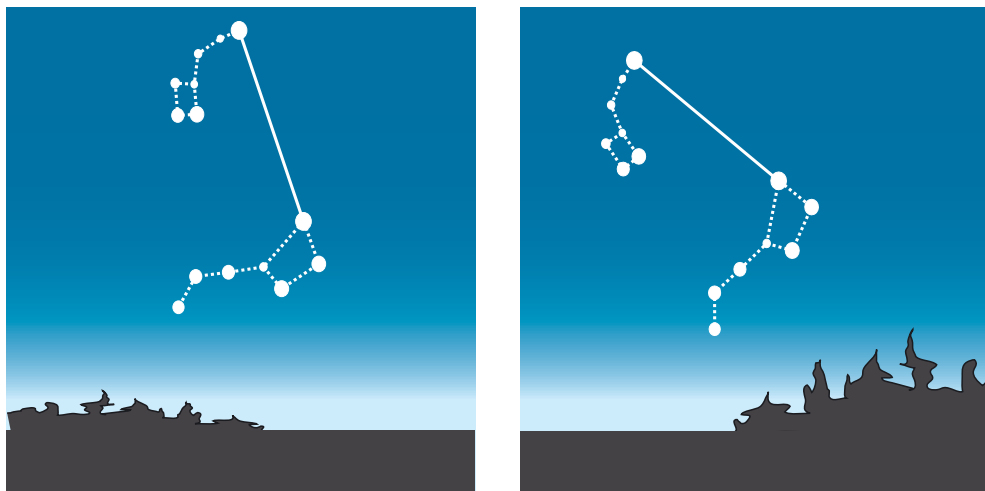


Рис. 3

скохозяйственных работ. Однако в то время у человека не было приборов для измерения времени, и люди научились ориентироваться по звёздам и вести счёт времени по изменению положения звёзд (рис. 3) и Солнца. Эта практическая потребность изучения звёздного неба привела к зарождению науки — астрономии.

Слово «астрономия» происходит от двух греческих слов: «астрон» — звезда и «номос» — закон.

5. Астрономия изучает явления, происходящие с *небесными телами*. К небесным телам относятся звёзды, планеты (в том числе и Земля), спутники планет (например, Луна), кометы («хвостатые звёзды», как их иногда называют), метеориты. Наша Земля и другие планеты со своими спутниками, кометы вращаются вокруг Солнца и составляют Солнечную систему. Системы звёзд, состоящие из звёзд и звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, представляют собой *галактики*.

Астрономия изучает движение звёзд, планет, их спутников и других небесных тел, а также явления, происходящие в атмосфере планет, в звёздах и других небесных телах.

6. Физика и астрономия тесно связаны между собой. Эта связь проявляется прежде всего в единстве земных и небесных явлений. Луна удерживается около Земли и тела падают на Землю по одной и той же причине. Одинаковы некоторые процессы,

происходящие, например, в недрах Солнца и в ускорителях частиц, установленных на Земле.

Развитие физики приводит к новым открытиям в астрономии. В частности, изучить строение и состав звёзд стало возможным благодаря использованию специальных физических методов исследования. Космические полёты стали реальностью, когда люди научились рассчитывать траектории космических кораблей и создавать специальные материалы, обладающие необходимыми свойствами: прочностью, лёгкостью, жаростойкостью и т. п.

В свою очередь, развитие астрономии способствует развитию физики. Вселенная представляет собой огромную физическую лабораторию. Вещество в ней находится в таких состояниях, которые нельзя получить в земных условиях. Например, температура внутри Солнца достигает 15 миллионов градусов. Получить и долго поддерживать такие температуры в земных условиях очень сложно, поскольку все металлы плавятся при гораздо меньших температурах. Самый тугоплавкий металл — вольфрам — плавится при температуре около 3400 градусов.

На основе наблюдений за явлениями, происходящими в космосе, были сделаны многие физические открытия. Так, газ гелий был открыт вначале на Солнце, а затем обнаружен в атмосфере Земли. Отсюда и его название: от греческого слова «гелиос», что означает «солнечный».

Вопросы для самопроверки

1. Что изучает физика?
2. Составьте таблицу, в которую запишите примеры механических, тепловых, электрических, магнитных, звуковых, световых явлений, приведённых в тексте параграфа, и свои примеры.
3. Приведите примеры физических тел. Назовите вещества, из которых они состоят.
4. Что изучает астрономия?
5. В чём проявляется связь между физикой и астрономией? Приведите примеры.



В электронной форме учебника к каждому параграфу даны дополнительные материалы и задания. Рекомендуем по мере изучения материала параграфов обращаться к электронной форме учебника.

§ 2. Как изучают явления природы

✓ Какие приборы используют при изучении явлений природы?

1. Выясним, как люди получают знания о природе. Мы уже говорили, что начало развитию науки астрономии положили наблюдения за звёздным небом. Вы хорошо знаете, что в ботанике наблюдения за ростом растений позволяют выявить закономерности их развития. Наблюдения широко используют и в географии.

Наблюдения за происходящими в окружающем нас мире явлениями позволили установить, что все тела падают на Землю (рис. 4), вода в чайнике кипит при определённой температуре, что от всех предметов в солнечный день образуется тень (рис. 5).

Таким образом, изучение любого явления начинается с его **наблюдения**.

2. В процессе наблюдения за явлениями природы получают определённые сведения о них. Эти сведения могут быть различными в зависимости от знаний человека, его умения описывать явление, фиксировать происходящие изменения и т. п. Рассмотрим, например, такое простое явление, как движение автомобиля. Один человек скажет, что автомобиль двигался, изменял своё положение относительно домов. Другой скажет, что автомобиль двигался и скорость его изменялась. Третий отметит, что скорость автомобиля то увеличивалась, то уменьшалась.

Итак, в процессе наблюдений за явлениями необходимо получить как можно больше информации и выделить особенности данного явления.

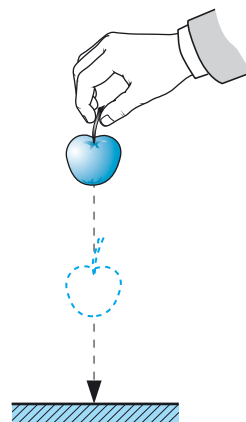


Рис. 4

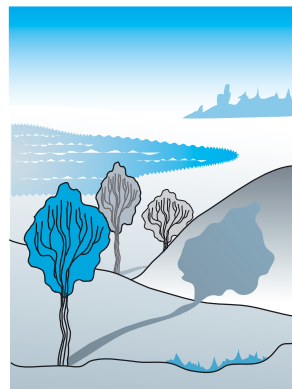


Рис. 5

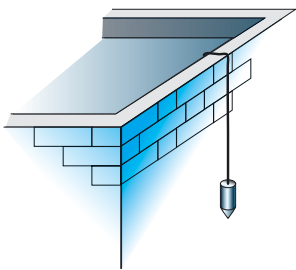


Рис. 6

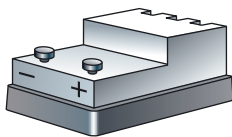
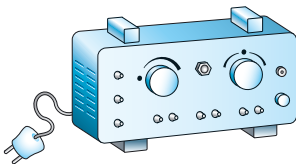


Рис. 7

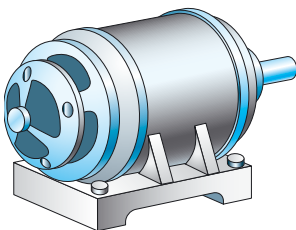


Рис. 8

3. Накопив за время наблюдений определённые данные о явлениях, учёные стремятся выяснить, как эти явления протекают и почему.

Чтобы ответить на эти вопросы, обычно выдвигается предположение, или **гипотеза**. При этом может быть выдвинута не одна, а несколько гипотез. Для проверки гипотезы ставят специальные опыты — **эксперименты**.

Гипотезы, не находящие подтверждения в экспериментах, считаются ложными и отвергаются. Гипотезы, подтверждённые опытом, принимаются и становятся научными знаниями.

Например, итальянский анатом **Луиджи Гальвани** (1737—1798), препарируя лягушек, обнаружил, что при соприкосновении тканей лапки лягушки с металлическим предметом её мышцы сокращаются. Однако этот эффект наблюдался не всегда. Гальвани предположил, что сокращение мышц происходит тогда, когда лапка касается двух разных металлов. Чтобы проверить эту гипотезу, учёный поставил ряд опытов, в ходе которых изучил данное явление.

При проведении эксперимента не только ставится определённая цель, но, в отличие от наблюдения, исследуется влияние различных факторов на протекание явления. В то же время наблюдение, как правило, является одним из этапов эксперимента. При проведении эксперимента учёные изменяют условия протекания явлений. Это даёт возможность всесторонне изучить его.

Так, Гальвани соединял лапки лягушки одним проводником и использовал для этого проводники из разных металлов, затем он соединял лапки с помощью двух

проводников; он выполнял эти опыты на улице и в помещении. В итоге учёный пришёл к выводу, что мышцы сокращались всегда, когда лапки касались двух разных металлов, а место проведения эксперимента не влияло на его результат.

Таким образом, последовательность изучения явлений может быть следующей:

наблюдение — гипотезы —
эксперимент — вывод.

4. Для постановки эксперимента используют физические приборы. Некоторые из них очень просты. Например, линейка, отвес (груз, подвешенный на нити), позволяющий проверять вертикальность стен (рис. 6), весы и т. д.

Есть и более сложные приборы, с которыми вам придётся работать. К ним относятся источники тока (рис. 7), такие технические устройства, как электрический двигатель (рис. 8), электромагнит (рис. 9) и др.

В научных экспериментах применяют очень сложные приборы и установки.

5. Знания по астрономии получают главным образом с помощью наблюдений. Особенность астрономических наблюдений заключается прежде всего в том, что исследователь не может влиять на протекание астрономических явлений. Наблюдения за небесными телами раньше проводились только с Земли. С 60-х гг. XX в. появилась возможность вести наблюдения с космических аппаратов. Были даже взяты пробы лунного грунта: в 1969 г. американскими астронавтами, высадившимися на Луне, в 1970 г. советской автоматической станцией. Особенностью астрономических наблюдений является то, что мы не можем влиять на небесные тела, изменять их свойства или состояние, как в физическом эксперименте.

При выполнении астрономических наблюдений используют различные приборы. *Телескоп* (рис. 10) является основным астрономическим прибором. Он позволяет

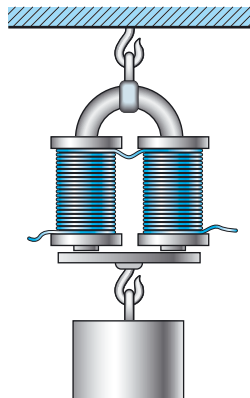


Рис. 9

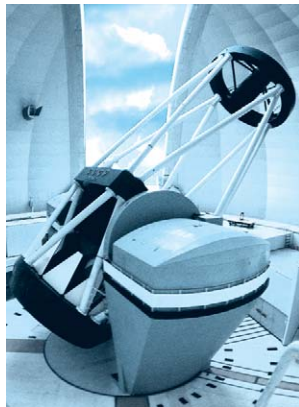


Рис. 10

получить сведения о Солнце, Луне, планетах. Наблюдения за астрономическими объектами ведутся не только с Земли, но и из космоса с помощью телескопа «Хаббл», который был запущен в 1990 г.

Вопросы для самопроверки

1. Что общего и чем различаются наблюдение и эксперимент?
2. Приведите пример научного эксперимента.
3. Какова последовательность изучения явлений природы? Проиллюстрируйте примером.
4. Какое значение имеют наблюдения в астрономии?
5. Приведите примеры физических и астрономических приборов, не указанных в параграфе.

Задание 1

1_э. Проведите дома эксперимент. Поставьте на плиту небольшую кастрюлю с водой. Опишите свои наблюдения за нагреванием воды. Если у вас есть термометр для измерения температуры воды, опустите его в воду и следите за его показаниями.

Будьте осторожны! Не доводите воду до температуры выше 50°, не дотрагивайтесь до нагретой кастрюли, не опрокиньте её. Нельзя пользоваться медицинским термометром.

2_д. Подготовьте сообщение о любом астрономическом наблюдении, выполненном на Земле или в космосе, используя различные источники информации, в том числе Интернет.

§ 3. Физические величины.

Единицы физических величин

- ✓ Что называют температурой?
- ✓ Что такое скорость тела?

1. Для того чтобы количественно охарактеризовать физическое явление, необходимо ввести *физические величины*.

Будем наблюдать за нагреванием воды в чайнике. Степень нагретости воды характеризуется физической величиной, называемой **температурой**. Температура является общей характеристикой всех явлений, связанных с нагреванием или охлаждением тел, но в каждом конкретном случае она имеет определённое значение.

Движение тел характеризуется физической величиной, которую называют **скоростью**. Мы говорим, что автомобиль движется со скоростью 60 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, велосипедист — со скоростью 20 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, т. е.

скорость, характеризуя движение, имеет разные значения для автомобиля и велосипедиста.

2. Некоторые физические величины характеризуют свойства тел и веществ. Все тела притягиваются к Земле. Величину, характеризующую свойство тел притягиваться к Земле, называют **массой**. Масса тела имеет определённое значение, оно различно у разных тел. Так, например, средняя масса яблока 100 г, средняя масса современного легкового автомобиля — 1500 кг, масса Луны — $7,35 \cdot 10^{22}$ кг.

Таким образом,

физические величины количественно характеризуют физические явления и свойства тел и веществ.

Чтобы ввести физическую величину, нужно прежде всего установить, какое явление или свойство она характеризует.

3. Физические величины имеют определённые значения. Под значением физической величины понимают некоторое число и единицу физической величины. Например, известно, что длина стола составляет 2 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.

Большинство физических величин имеют определённые единицы.

За *основную* единицу длины принят *метр* (м). За основную единицу массы принят *килограмм* (кг). Единицей температуры служит *градус Цельсия* (°C).

4. От выбора единицы зависит числовое значение физической величины; оно изменяется при использовании другой единицы. Например, длина стола равна 1 м, или 100 см. Числовые значения физической величины (длины стола) различны, поскольку различны единицы этой величины.

Помимо основных, существуют *кратные* и *дольные* единицы. Так, кратной единицей длины является километр, а дольными единицами — дециметр, сантиметр, миллиметр (табл. 1). Кратные единицы массы — тонна, центнер, дольные — грамм, миллиграмм и др. Чтобы переходить от одних единиц к другим, нужно знать соотношения между ними. Так,

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ м} = 100 \text{ см}; & 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}; \\ 1 \text{ км} = 1000 \text{ м}; & 1 \text{ ч} = 3600 \text{ с}. \end{array}$$

Таблица 1
Приставки к названиям единиц

<i>Кратные</i>			<i>Дольные</i>		
<i>обозначение</i>	<i>название</i>	<i>множитель</i>	<i>обозначение</i>	<i>название</i>	<i>множитель</i>
г	гекто	100 (10^2)	д	деци	0,1 (10^{-1})
кг	кило	1000 (10^3)	с	санти	0,01 (10^{-2})
М	мега	1 000 000 (10^6)	м	милли	0,001 (10^{-3})

Вопросы для самопроверки

1. Какие физические величины характеризуют следующие явления: а) охлаждение воздуха в комнате; б) движение автомобиля?
2. Какие физические величины приведены в параграфе? Приведите примеры известных вам физических величин, не указанных в тексте.
3. Назовите единицы длины и времени, не указанные в тексте параграфа.

Задание 2

1. Длина комнаты 4 м. Выразите её длину в см; в дм.
2. Масса легкового автомобиля 2 т. Выразите его массу в кг; в г.
3. Ученик выполнил задание за 1 ч 20 мин. Выразите это время в мин; в с.
4. Объём жидкости в аквариуме 5 л. Выразите этот объём в м^3 ; в дм^3 ; в см^3 .

§ 4. Измерение физических величин

- ✓ Что называют физической величиной?
- ✓ Какие измерительные приборы вам известны?

1. Источником наших знаний о природе являются наблюдения и эксперименты. В физических экспериментах приходится измерять самые разные величины.

Например, наблюдения и многочисленные опыты показывают, что объём тела увеличивается при повышении температуры. Для того чтобы узнать, какова зависимость объёма тела от температуры, нужно во время опыта проводить измерения этих двух величин.

В астрономии измерения также играют большую роль. Измеряют диаметры звёзд, планет, расстояния до небесных тел, массы небесных тел, время их движения по орбитам и т. д.

2. Что значит измерить физическую величину? Например, мы хотим измерить длину карандаша. Чтобы это сделать, возьмём отрезок длиной 1 см и выясним, сколько раз этот отрезок уложится на длине карандаша. Иными словами, мы сравним длину карандаша с длиной отрезка 1 см.

Чтобы измерить промежуток времени между началом движения автомобиля и его остановкой, надо выяснить, сколько секунд содержится в данном промежутке. Мы сравниваем этот промежуток времени с промежутком времени, равным 1 с.

Таким образом,

чтобы измерить физическую величину, надо сравнить её с однородной величиной, принятой за единицу.

В результате измерения величины получают её значение, выраженное в определённых единицах.

3. Физические величины измеряют с помощью специальных приборов. Одним из самых простых измерительных приборов является линейка (рис. 11). Она даёт возможность определить длину, ширину, высоту тела, т. е. его линейные размеры.

Физическим прибором, хорошо вам известным, являются также весы, которые позволяют определить массу тела (рис. 12). Прибором, с помощью которого измеряют объём жидкости, является измерительный цилиндр — мензурка (рис. 13). С помощью секундомера измеряют время (рис. 14).

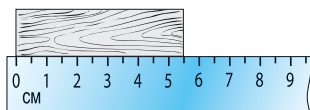


Рис. 11

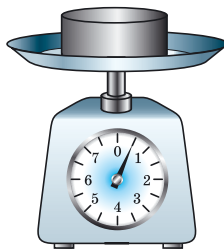


Рис. 12

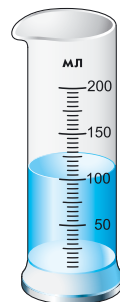


Рис. 13

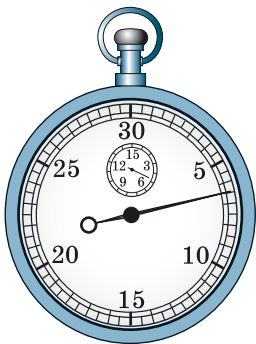


Рис. 14

4. Рассмотрим приборы, изображённые на рисунках 11—14. На приборах нанесены штрихи, а рядом с некоторыми штрихами стоят числа. *Штрихи и числа рядом с ними образуют шкалу прибора.* По шкале прибора определяют значение измеряемой величины.

На приборе также указывают единицу измеряемой величины.

5. Ещё раз посмотрим на шкалу приборов (см. рис. 11—14). Видим, что числа стоят лишь около некоторых штрихов, а рядом с большинством штрихов чисел нет.

Возникает вопрос: как узнать значение измеряемой величины, если его нельзя прочесть непосредственно на шкале прибора? Для этого нужно знать цену деления шкалы.

Цена деления — это значение наименьшего деления (расстояния между двумя штрихами) шкалы измерительного прибора.

Чтобы определить цену деления шкалы прибора, необходимо выполнить последовательно следующие действия.

1. Найти разность между двумя ближайшими значениями, обозначенными на шкале прибора.

2. Найти число делений между этими значениями.

3. Найти цену деления шкалы прибора, разделив разность значений величины на число делений между этими значениями.

Определим цену деления шкалы линейки (см. рис. 11). Для этого:

1) найдём разность двух любых значений, обозначенных на линейке, например: $6\text{ см} - 5\text{ см} = 1\text{ см}$;

2) найдём число делений между этими значениями; оно равно 2;

3) найдём значение одного деления; для этого 1 см разделим на два деления: $1\text{ см} : 2 = 0,5\text{ см}$.

Полученное значение и есть цена деления шкалы линейки. Следовательно, цена деления шкалы равна:

$$\frac{6\text{ см} - 5\text{ см}}{2} = 0,5\text{ см}.$$

Теперь, зная цену деления шкалы, определим значение измеряемой величины — длины бруска. Для этого:

1) совместим левый конец бруска с нулевым штрихом линейки, найдём ближайший обозначенный штрих перед правым концом бруска; оно равно 5 см;

2) определим число делений, расположенных между обозначенным штрихом и правым концом бруска; оно равно 1;

3) умножим цену деления шкалы на число делений: $0,5 \text{ см} \cdot 1 = 0,5 \text{ см}$;

4) прибавим полученное значение к 5 см; поскольку цена деления шкалы получилась с точностью до десятых долей, то и значение величины мы должны записать с точностью до десятых: $5,0 \text{ см} + 0,5 \text{ см} = 5,5 \text{ см}$.

В данном случае длина бруска равна 5,5 см.

Вопросы для самопроверки

1. С какой целью выполняют измерения в физике и астрономии?
2. Что значит измерить физическую величину? Поясните на примере.
3. Что называют шкалой измерительного прибора?
4. Что такое цена деления шкалы прибора и как её определить?

Задание 3

1. Определите цену деления шкалы и показания приборов, изображённых на рисунках 12 и 13, а также любого прибора, имеющегося у вас дома. Полученные результаты занесите в таблицу 2, перечертив её в тетрадь.

Таблица 2

<i>№ п/п</i>	<i>Название прибора</i>	<i>Измеряемая величина</i>	<i>Цена деления шкалы</i>	<i>Значение величины</i>
1	Весы			
2	Мензурка			
3				

2. Определите цену деления шкалы линейки, имеющейся у вас. Измерьте с её помощью длину карандаша.

3. Измерьте дома длину и ширину стола с помощью измерительной ленты (бытового сантиметра) или рулетки, определив предварительно цену деления её шкалы.

- 4_з. Определите объём жидкости в кастрюле (объём которой вам известен) *методом оценки*¹.
- 5_з. Измерьте время вытекания воды из бутылки.

§ 5. Точность измерений

- ✓ Что значит измерить физическую величину?
- ✓ Что называют ценой деления шкалы измерительного прибора? Как её определить?

1. При измерении физических величин часто требуется получить как можно более точный результат, поскольку от этого зависит обоснованность выводов, которые делают по результатам проводимых экспериментов.

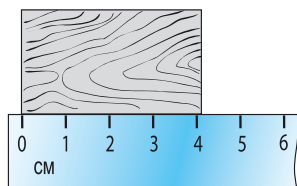
Выясним, от чего зависит точность измерений.

Измерим длину одного и того же предмета с помощью двух линеек (рис. 15, а, б). Цена деления шкалы первой линейки 1 см, второй — 1 мм.

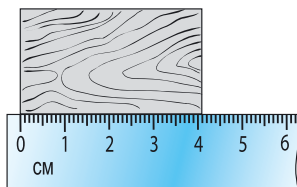
Значение длины, полученное с помощью первой линейки, равно 4 см, с помощью второй — 4,1 см. Если бы существовала линейка с ещё меньшей ценой деления шкалы, мы получили бы ещё более точный результат. Следовательно, точность измерений зависит от цены деления шкалы прибора.

Чем меньше цена деления, тем больше точность измерения.

Таким образом, физическая величина не может быть измерена абсолютно точно. При её измерении неизбежны ошибки, или, как говорят, **погрешности**. Погрешность возникает из-за несовершенства измерительных приборов, связанного с особенностями их конструкции. Эту погрешность называют **абсолютной погрешностью измерения**. По мере совершенствования измерительных приборов повышается точность измерений.



а)



б)

Рис. 15

¹ Метод оценки применяют тогда, когда не требуется точное измерение величины. В основе этого метода лежит сравнение определяемой величины с известной величиной. Так, можно определить высоту пятиэтажного дома, умножив высоту одного этажа (около 3 м) на 5. Получим примерно 15 м.

Можно считать, что *абсолютная погрешность измерений равна половине цены деления шкалы измерительного прибора*. Исключение составляют приборы для измерения линейных размеров (линейка, рулетка и т. п.), так как невозможно абсолютно точно совместить левый конец измеряемого предмета с нулевым делением шкалы. Поэтому погрешность измерения в данном случае удваивается и равна цене деления шкалы прибора.

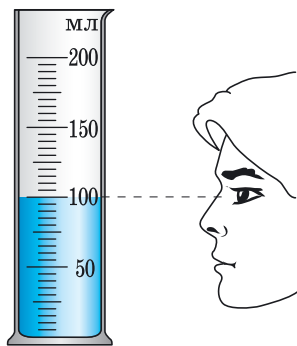


Рис. 16

При использовании измерительных приборов требуется соблюдать определённые правила, чтобы не вносить дополнительную погрешность. Так, при снятии показаний шкала прибора должна находиться прямо перед глазами (рис. 16); при измерении температуры жидкости термометр нельзя вынимать из неё; при взвешивании тел необходимо следить за тем, чтобы чаши весов были сухими, и т. п.

2. Как правильно записать результат измерений с учётом абсолютной погрешности измерения?

Для ответа на этот вопрос рассмотрим пример. Измерим ширину парты l с помощью демонстрационного метра, цена деления шкалы которого 1 см. Она будет равна 62 см. Абсолютная погрешность измерения составляет цену деления, следовательно, она равна 1 см. Тогда результат измерения ширины парты запишется в виде:

$$l = (62 \pm 1) \text{ см.}$$

Это означает, что истинное значение измеряемой величины лежит в пределах:

$$61 \text{ см} \leq l \leq 63 \text{ см.}$$

На числовом луче (рис. 17) выделен интервал, в котором находится истинное значение ширины парты; ширина этого отрезка равна 2 см.

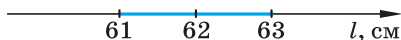


Рис. 17

Таким образом, если значение физической величины A , полученное в результате измерения, обозначить через a , абсолютную погрешность измерения через Δa (Δ — греч. буква «дельта», прописная), то результат измерения запишется так:

$$A = a \pm \Delta a.$$

Для того чтобы узнать, насколько велика по сравнению с измеренной величиной погрешность измерения в каждом случае, вычисляют *относительную погрешность* измерения δa (δ — греч. буква «дельта», строчная). Она равна отношению абсолютной погрешности Δa к значению a физической величины, полученному при измерении:

$$\delta a = \frac{\Delta a}{a} \cdot 100\%.$$

Например, относительная погрешность измерения ширины стола меньше, чем относительная погрешность измерения длины ручки той же линейкой.

Вопросы для самопроверки

1. Можно ли физическую величину измерить абсолютно точно? Ответ поясните.
2. Назовите причины погрешностей при измерении.
3. Как связана точность измерений с ценой деления шкалы прибора?
4. Что называют относительной погрешностью измерения?

Задание 4

- 1., Измерьте с помощью линейки длину тетради и запишите результат с учётом абсолютной погрешности измерения.
2. Запишите показания приборов, изображённых на рисунках 11—14, с учётом абсолютной погрешности измерения.

Лабораторная работа № 1

Измерение длины, объёма и температуры тела

Цель работы:

научиться пользоваться линейкой, измерительным цилиндром (мензуркой) и термометром; научиться записывать результат измерений с учётом погрешности.

Приборы и материалы:

деревянный брусок, линейка с миллиметровыми делениями, измерительный цилиндр (мензурка), стакан с водой, термометр.

Порядок выполнения работы

1. Определите цену деления шкалы линейки.
2. Определите абсолютную погрешность измерения линейкой.
3. Измерьте длину (a), ширину (b) и высоту (h) деревянного бруска.
4. Запишите значение цены деления, абсолютную погрешность и результаты измерений в таблицу 3.
5. Определите цену деления шкалы мензурки.
6. Определите абсолютную погрешность измерения мензуркой.
7. Налейте в мензурку немного воды из стакана. Измерьте объём воды V_1 .
8. Налейте в мензурку ещё воды и определите её объём V_2 .
9. Определите цену деления шкалы термометра.
10. Определите абсолютную погрешность измерения термометром.
11. Измерьте температуру воды в мензурке.
12. Запишите результаты всех измерений в таблицу 3.

Таблица 3

<i>Физический прибор</i>	<i>Цена деления шкалы</i>	<i>Абсолютная погрешность измерения</i>	<i>Физическая величина</i>	<i>Измеренное значение величины</i>	<i>Результат измерения</i>
Линейка			Длина (a)		
			Ширина (b)		
			Высота (h)		
Мензурка			Объём (V_1)		
			Объём (V_2)		
Термометр			Температура (t)		

Лабораторная работа № 2

Измерение размеров малых тел

Измерение размера малого тела — задача достаточно сложная. Например, если определять диаметр крупинки пшена или песчинки с помощью линейки, цена деления шкалы которой 0,1 см, то абсолютная погрешность измерения будет сравнима с размерами этих частиц. Для уменьшения погрешности измерений используют следующий метод: укладывают плотно в ряд несколько крупинок, измеряют длину ряда, делят её на число крупинок

и получают диаметр одной крупинки. При этом абсолютная погрешность измерения диаметра крупинки будет равна абсолютной погрешности измерения линейки (0,1 см), делённой на число крупинок. Таким образом, чем больше крупинок, тем меньше погрешность и точнее результат.

В данной работе измерим диаметр горошины.

Цель работы:

научиться измерять размеры малых тел.

Приборы и материалы:

линейка, 10—20 горошин.

Порядок выполнения работы

1. Определите цену деления шкалы линейки и абсолютную погрешность измерения.
2. Расположите в ряд 10 горошин. Измерьте длину ряда. Запишите результат с учётом погрешности измерения в таблицу 4.
3. Определите диаметр горошины и абсолютную погрешность его измерения. Запишите результат в таблицу 4.
4. Повторите опыт, взяв большее число горошин.

Таблица 4

<i>№ опыта</i>	<i>Цена деления шкалы линейки</i>	<i>Абсолютная погрешность измерения</i>	<i>Число горошин</i>	<i>Длина ряда l, мм</i>	<i>Диаметр горошины d, мм</i>
1					
2					

Задание 5

- 1., Подумайте, как измерить толщину нити, имея в своём распоряжении линейку и карандаш. Проведите этот эксперимент.
- 2., Предложите способ измерения с помощью линейки толщины листа бумаги. Выполните измерение.

Лабораторная работа № 3

Измерение времени

Для уменьшения погрешности измерений времени какого-либо процесса (например, движения шарика) необходимо, чтобы начало процесса (движения) совпало с началом отсчёта времени.

Если вы пользуетесь часами с секундной стрелкой, то шарик нужно толкнуть в тот момент, когда стрелка установится на определённом делении шкалы.

Цель работы:

научиться измерять время с помощью секундомера; научиться записывать результаты измерений.

Приборы и материалы:

секундомер (или часы с секундной стрелкой), шарик, шарик на нити, штатив с муфтой и кольцом.

Порядок выполнения работы

1. Определите цену деления шкалы часов или секундомера. Запишите значение цены деления и погрешность измерения в таблицу 5. (Абсолютная погрешность измерения времени с помощью секундомера равна цене деления.)
2. Научитесь совмещать начало отсчёта времени с началом движения шарика. Для этого удерживайте одной рукой шарик на столе. В другую руку возьмите секундомер. Считайте: ноль, ноль, один... На счёт «один» одновременно толкните шарик и включите секундомер. Прodelайте упражнение 3 раза.
3. Измерьте время движения шарика по столу t_1 .
4. Подвесьте шарик на нити к штативу (рис. 18). Отведите его в сторону и отпустите. Шарик будет совершать повторяющиеся движения, подобно качелям, т. е. шарик будет колебаться.
5. Измерьте время нескольких колебаний шарика t_2 . (Одно колебание — движение от одной крайней точки до другой и обратно.)
6. Результаты всех измерений запишите в таблицу 5, учитывая абсолютную погрешность измерений.

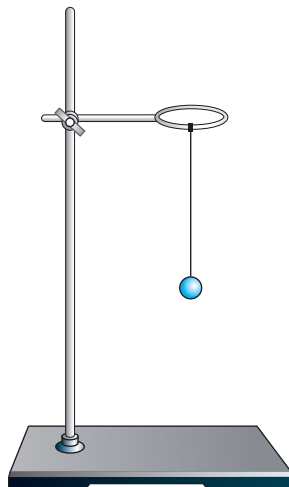


Рис. 18

Таблица 5

Физический прибор	Цена деления шкалы	Абсолютная погрешность измерения	Физическая величина	Измеренное значение величины	Результат измерения
			t_1		
			t_2		

Задание 6

- 1_з. Измерьте частоту своего пульса, которая равна числу сокращений сердечной мышцы за 1 мин.
- 2_з. Измерьте время чтения вами одной страницы текста.
- 3_з. Измерьте время протекания любого выбранного вами физического явления.

§ 6. Связи между физическими величинами. Физические теории

- ✓ Что называют физической величиной?
- ✓ Приведите примеры взаимосвязи физических величин.

1. Как вам уже известно, для описания физических явлений и свойств тел и веществ используют физические величины.

Проводя эксперименты, учёные заметили, что некоторые величины, относящиеся к одному и тому же явлению, взаимосвязаны.

Например, при изменении температуры тел также меняется их объём. Они увеличиваются при повышении температуры и уменьшаются при её понижении. Температура воды в чайнике при её нагревании зависит от времени нагревания.

2. Чтобы сделать вывод о том, что взаимосвязь между величинами не является случайной, её справедливость проверяют для множества подобных явлений.

Если связи между величинами, которые характеризуют явления, оказываются постоянными, то их называют **физическими законами**.

Существуют физические законы, относящиеся лишь к определённым физическим явлениям. Например, есть законы, описывающие механические явления, или законы, которым подчиняются тепловые явления. Кроме того, существуют более общие законы, которые справедливы для всех физических явлений. Круг явлений, которые описывают законы, определяется *границами их применимости*.

Обычно физический закон записывают в виде *формулы*.

3. Познание окружающего мира было бы неполным, если бы люди только наблюдали и описывали явления, устанавливали законы. Необходимо ещё уметь объяснять явления при-

роды. Человек, изучая природу, всегда стремился ответить не только на вопрос «Что происходит?», но и на вопрос «Почему происходит?».

Ответ на вопрос «Почему происходит то или иное явление?» можно получить с помощью теоретических знаний, являющихся основой **физической теории**. Так, механические явления, например характер движения транспорта или спутников Земли, объясняются теорией, которая называется *механикой*. Объяснить, почему тела при нагревании расширяются, почему нагревается ложка, опущенная в стакан с горячей водой, позволяет *молекулярно-кинетическая теория строения вещества*. Существует теория, объясняющая электрические и магнитные явления.

Таким образом, физические явления — механические, тепловые, электрические и др. — объясняются соответствующими физическими теориями. Теория содержит наиболее общие, систематизированные знания о физических явлениях.

Теория позволяет не только объяснить, почему происходит явление, но и предсказать его ход, получить новые закономерности.

Вопросы для самопроверки

1. Что выражает физический закон?
2. Можно ли считать физическим законом связи между величинами, не повторяющиеся в экспериментах?
3. Какова роль физической теории?
4. Какие явления объясняет механика; молекулярно-кинетическая теория строения вещества?

§ 7. Физика и техника

- ✓ Какие научные открытия в физике или в астрономии вам известны?
- ✓ Назовите известные вам технические устройства. Какие физические явления лежат в основе их работы?

1. Время, в которое мы живём, характеризуется бурным развитием науки и быстрым внедрением научных открытий в технику, промышленность, сельское хозяйство, в быт человека, а также влиянием достижений техники на развитие науки.

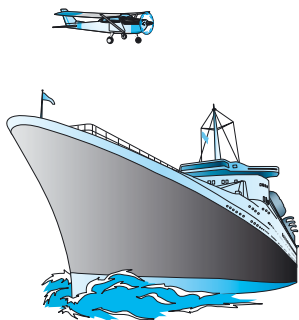


Рис. 19

С развитием физики тесно связано развитие техники. Это и понятно, поскольку работа различных технических устройств основана на использовании физических явлений и законов. Например, спроектировать и построить самолёт или морское судно (рис. 19) стало возможным лишь после изучения закономерностей полёта тел в воздухе и плавания тел в жидкости.

Автомобили, тепловозы, теплоходы приводятся в движение тепловыми двигателями. Сконструировать такой двигатель смогли после изучения свойств газов и некоторых тепловых явлений.

Электрические явления люди наблюдали ещё за несколько веков до нашей эры. Однако в промышленности и быту электричество стало применяться лишь с конца XIX в., когда были открыты основные законы, которым подчиняются электрические явления.

2. Совершенствование измерительной техники, создание более точных приборов приводит к новым открытиям в науке. Так, создание микроскопов позволило изучить строение различных веществ.

Знание строения вещества, зависимости свойств веществ от их строения и умение изменять эти свойства позволило создать материалы, обладающие повышенной прочностью, твёрдостью, жаростойкостью. Благодаря этому появилась возможность сконструировать специальные аппараты для исследования космического пространства, искусственные спутники Земли для изучения её природных ресурсов, климата и предсказания погоды. Получаемые с их помощью сведения способствуют развитию науки.

Развитие электронной техники — появление калькуляторов, компьютеров, мобильных телефонов, новых моделей телевизоров (рис. 20), автоматических устройств — стало возможным благодаря созданию материалов, обладающих специфическими электрическими свойствами.

В свою очередь, использование компьютера помогает решать многие научно-исследовательские и практические задачи. Например, компьютер даёт возможность достаточно точно расчи-

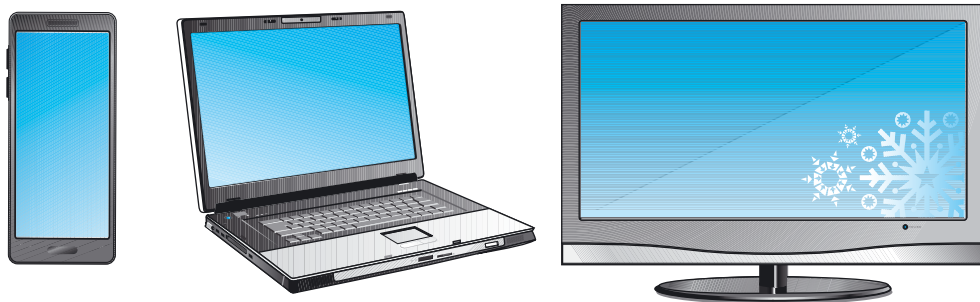


Рис. 20

тать траекторию движения космических тел и космических кораблей.

Достижения науки и техники позволили сконструировать такие сложные технические устройства, как ускорители частиц. Исследования, проводимые на этих ускорителях, приводят к открытию новых частиц, к уточнению их свойств.

3. Чем дальше мы проникаем в тайны природы, тем бóльшие требования предъявляются к точности измерений. Первые часы могли измерять время лишь в часах. Много позже появились минутная и секундная стрелки. Развитие техники привело к созданию таких часов, которые измеряют тысячные доли секунды и даже более мелкие промежутки времени. С их помощью определяют время распространения радиоволн, что, в свою очередь, даёт возможность измерить расстояние до звёзд и планет, до грозовых туч и до поверхности Земли с летящего самолёта.

Таким образом, *наука и техника тесно связаны между собой. Развитие науки вызывает дальнейшее развитие техники, развитие техники способствует новым достижениям науки.*

Вопросы для самопроверки

1. Почему физику считают основой техники?
2. Приведите примеры технических устройств. На каких физических явлениях основана их работа?
3. Какие механические и электрические устройства используют в вашем доме?
- 4*. Приведите примеры электрических устройств, используемых на транспорте.
- 5*. Приведите примеры приборов и технических устройств, используемых в научных исследованиях.

§ 8. Физика и окружающий нас мир

- ✓ Что изучают физика и астрономия?
- ✓ Как физика изучает окружающий мир?

1. В окружающем нас материальном мире встречаются самые разные физические тела. Эти тела имеют разное строение, разные свойства и размеры. Например, размеры Солнца, планет, других космических объектов во много раз больше размеров тел, которые окружают нас на Земле (машин, домов, деревьев и т. д.). В свою очередь, частицы, из которых состоит тело, очень малы по сравнению с размерами самого тела.

Физика изучает свойства и поведение как самых маленьких тел (объектов), так и самых больших. Одни физические законы являются общими для физических тел различных размеров, другие — описывают поведение лишь тел определённых размеров. Поэтому в физике объекты в зависимости от их размеров делят на три группы.

2. В первую группу входят галактики, звёздные скопления, звёзды, планеты, имеющие огромные размеры. Эти объекты составляют *мегамир*.

Вторая группа объектов составляет *макромир*. Это всё, что нас окружает на Земле. При этом разные объекты имеют размеры, значительно отличающиеся друг от друга. Например, размер инфузории-туфельки 0,1—0,3 мм, а длина легкового автомобиля 4—5 м. И инфузория-туфелька, и автомобиль относятся к объектам макромира.

Третья группа объектов — *микромир*. Это частицы, из которых состоит вещество. Их размеры меньше 10^{-10} м. Чтобы понять, насколько эта величина мала, представьте, что размер частицы вещества увеличили до 1 см. При таком же увеличении длина комнаты в 3,8 м станет равной расстоянию от Земли до Луны. Следует иметь в виду, что границы между мегамиром и макромиром, макромиром и микромиром достаточно условны, и не всегда их можно чётко определить. Важно, что «поведение» объектов, составляющих эти «миры», подчиняется как общим, так и специфическим для каждого «мира» законам.

В последнее время выделяют особые объекты, обладающие специфическими свойствами, имеющие размеры от 1 до 100 нм (10^{-9} до 10^{-7} м), так называемый наномир.

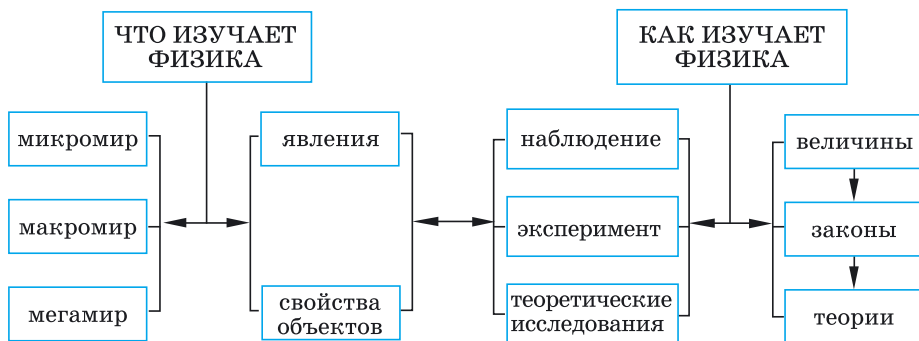


Рис. 21

Физика изучает свойства тел и явления, происходящие в микро-, макро- и мегамире. Знания об окружающем мире могут быть получены как в ходе наблюдений и проведения эксперимента, так и теоретически. Установленные в ходе эксперимента законы объясняются с помощью физических теорий.

Если знания о явлениях и свойствах тел получены теоретическим путём, то их справедливость подтверждается с помощью эксперимента.

3. Все знания об определённом круге физических явлений: их описание, величины, их характеризующие, результаты экспериментов, законы — входят в физическую теорию.

На рисунке 21 приведена схема, на которой показано, что изучает физика, как она изучает окружающий мир и в какой форме систематизируются эти знания в науке.

Вопросы для самопроверки

1. Какие вам известны объекты мегамира?
2. Приведите примеры объектов макромира.
3. Назовите известные вам объекты микромира.
4. Что называют наномиром?

Темы докладов и проектов

1. Объекты микромира и методы их изучения.
2. Объекты мегамира и методы их изучения.
3. Физические эксперименты в космосе.
4. Исследуйте любое физическое явление, соблюдая последовательность действий при изучении явлений природы. Опишите ход исследования и его результат.
5. Придумайте способы измерения массы капли воды.



Механические явления

Вопрос о том, как и почему движутся тела, волновал людей с незапамятных времён. Где окажется тело через некоторое время после начала движения? Что нужно знать, чтобы определить его положение? Какие измерения и как нужно осуществить, чтобы узнать, описать и объяснить «поведение» тела? Эти и многие другие вопросы будут обсуждаться в данной главе, которая введёт вас в мир механических явлений.

§ 9. Механическое движение и его виды

✓ Приведите примеры движения физических тел.

1. Посмотрите внимательно вокруг себя. Вы заметите, что окружающие вас тела и предметы ведут себя по-разному. Одни покоятся: стол, за которым вы сидите, доска, портреты учёных на стене класса. Другие же движутся: учитель, демонстрирующий опыт, стрелки часов на стене, падающая с парты книга. Посмотрев в окно, вы увидите ещё больше движущихся тел: автомобили, велосипеды, пешеходы и т. д. Представьте, что вы находитесь в лесу. Здесь, кажется, движется всё: листья на деревьях и даже их стволы, трава, жучки, стрекозы, облака в небе. Все эти движения очень разные. Объединяет их одно общее свойство: *все тела изменяют своё положение в пространстве.*

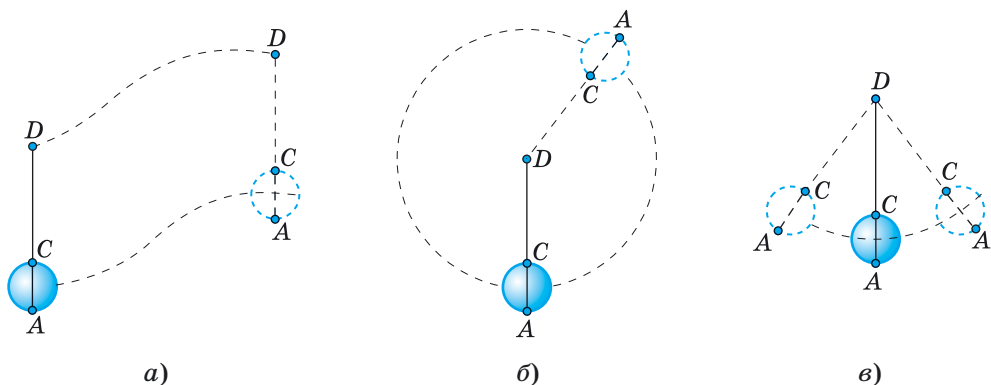


Рис. 22

Изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени называют механическим движением.

2. Рассмотрите рисунок 22. Один и тот же шарик на нити, закреплённой в точке D , совершает разные движения. Отметим на поверхности шарика точки A , C и проследим, как будет меняться при движении положение этих точек. В случае a) все точки движутся одинаково, любая прямая, проведённая в теле, смещается параллельно самой себе. Такое движение называют **поступательным**. В случае b) шарик движется по окружности, а в случае v) — колеблется. Это примеры других видов механического движения — **вращательного** и **колебательного** соответственно.

Примеров механического движения чрезвычайно много. Движущаяся по шоссе машина; санки, скатывающиеся с горы; самолёт во время взлёта, полёта и посадки — всё это примеры поступательного движения. Вращательное движение совершают минутная и часовая стрелки часов, ребёнок на карусели, Луна вокруг Земли. Примерами колебательного движения служат движения маятника настенных часов, ребёнка на качелях, струны звучащей гитары.

Механическое движение — самый простой вид движения. С другими, более сложными видами движения вы познакомитесь на уроках физики в старших классах.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют механическим движением?
2. К какому виду механического движения — поступательному, вращательному или колебательному — относятся движения следующих тел:

- поезд в метро;
- лист осины на ветру;
- Земля вокруг Солнца;
- лопасти вентилятора;
- крылья летящей бабочки?

Отвечая на вопрос, составьте таблицу из трёх колонок, соответствующих трём разным видам движения, и заполните её. Дополните таблицу своими примерами.

- 3*. Какие приборы необходимы для изучения движения?

- 4*. Приведите примеры движений, отличных от механического.

§ 10. Относительность механического движения

- ✓ Какие виды механического движения вам известны?

1. Главная особенность любого движения, в том числе и механического, — его **относительность**.

Представьте себе, что вы сидите в лодке и смотрите на воду в реке (рис. 23). Можно ли уверенно сказать, что лодка движется? Что вы сделаете, чтобы убедиться в этом? Конечно же посмотрите на берег и тогда уже скажете, движется лодка или стоит на месте.



Рис. 23

Другой пример. Вы находитесь в поезде и во время остановки смотрите в окно на стоящий рядом поезд. Затем ваш поезд начинает медленно двигаться, и через несколько минут вы с изумлением видите промелькнувший «хвост» другого поезда, а ваш, оказывается, продолжал всё время стоять у той же самой платформы.

2. Эти примеры показывают, что судить о движении тела



Рис. 24

можно, только сопоставляя его с каким-либо другим телом, которое принято называть **телом отсчёта**.

Автомобиль движется относительно шоссе или домов у обочины, птица — относительно дерева, тележка с грузом (рис. 24) — относительно стола. А движется ли находящийся на тележке груз?

Да, если рассматривать его движение относительно стола.

Нет, если рассматривать его движение относительно тележки.

3. Оказывается, одно и то же тело может одновременно и двигаться, и покоиться. Это зависит от того, относительно какого тела отсчёта рассматривается его движение.

Если в первом примере (см. рис. 23) за тело отсчёта принять лодку, в которой вы сидите, то относительно неё вы находитесь в покое. Если же за тело отсчёта принять дерево на берегу, то относительно дерева вы движетесь.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите примеры, иллюстрирующие относительность движения тела.
2. Что называют телом отсчёта?
3. Как вы понимаете утверждение: «Движение и покой относительны»?

Задание 7

1. Мотоциклист движется по шоссе. Относительно какого тела он находится в покое:

- а) дома у дороги;
- б) собаки, выскочившей из подъезда дома;
- в) автомобиля, едущего рядом с такой же скоростью, что и мотоциклист;
- г) пассажира в коляске мотоцикла?

Выберите правильные ответы.

2. Придумайте ситуацию, в которой одно и то же тело находится одновременно и в движении, и в покое.

3. Может ли космонавт ответить на вопрос: движется космический корабль или нет? Как он поступит, решая эту проблему?

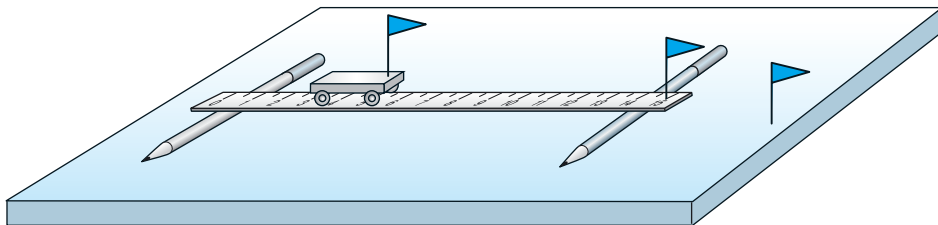


Рис. 25

4. Прodelайте следующий опыт. Возьмите широкую линейку, поставьте её на катки (два карандаша или ручки). Затем маленькую тележку поставьте на эту линейку. На стол, линейку и тележку установите по флажку (рис. 25). Прoдемонстрируйте движение и покой тележки относительно стола и линейки; линейки относительно стола и тележки. Назовите во всех случаях тело отсчёта.

§ 11. Траектория. Путь

- ✓ Все ли физические тела при движении оставляют видимый след?
- ✓ Какие единицы пройденного пути вы знаете?

1. При изучении движения тела важно знать, как оно движется, как меняется его положение со временем.

Некоторые тела при движении оставляют за собой видимый след. Это, например, след лыжника, бегущего по свежему снегу (рис. 26), след пролетевшего по небу метеора (рис. 27), след кончика карандаша, движущегося по чистому листу бумаги (рис. 28).



Рис. 26



Рис. 27

Подобный след, точнее, линию, вдоль которой движется тело, называют **траекторией движения** этого тела. Очевидно, что в большинстве случаев траекторию увидеть невозможно.

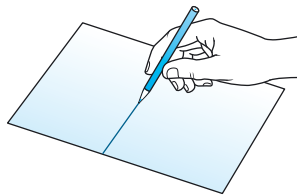


Рис. 28

Траектория относительна, её форма зависит от тела отсчёта, относительно которого рассматривают движение. Так, относительно руля прямолинейно движущегося велосипеда траекторией точки обода колеса является окружность, а относительно стоящего у дороги столба — винтовая линия.

2. Для описания движения тела недостаточно знать только траекторию его движения. Чтобы определить, где находился лыжник, например, через 2 ч после начала движения со старта, необходимо измерить длину траектории, по которой он двигался в течение этого времени.

Длину траектории, по которой движется тело в течение некоторого промежутка времени, называют пройденным путём.

Пройденный путь (или просто путь) — физическая величина, её принято обозначать буквой s . Для измерения пройденного пути используется основная единица длины — *метр (м)*. В практике пользуются и другими единицами: *километр (км)*, *сантиметр (см)*, *миллиметр (мм)*.

$$\begin{aligned}1 \text{ км} &= 1000 \text{ м} = 10^3 \text{ м}; \\1 \text{ см} &= 0,01 \text{ м} = 10^{-2} \text{ м}; \\1 \text{ мм} &= 0,001 \text{ м} = 10^{-3} \text{ м}.\end{aligned}$$

Вопросы для самопроверки

1. Что называют траекторией движения?
2. Можно ли увидеть траекторию движения трамвая, троллейбуса, парохода, самолёта?
3. Какую физическую величину называют путём?
4. Какие единицы пути вы знаете?

Задание 8

1. Расстояние от Москвы до Санкт-Петербурга 634 км. Чему равно это расстояние в м; в мм?

2. Длина лунной орбиты приблизительно равна 2 400 000 км. Выразите её в метрах.
3. Путь, пройденный туристом за день, равен 20 000 м. Чему равен этот путь в километрах?

§ 12. Равномерное движение.

Скорость равномерного движения

- ✓ Назовите единицы скорости движения тела.
- ✓ Приведите примеры физических величин, связанных прямой пропорциональной зависимостью.

1. Среди разнообразных механических движений самым простым является равномерное прямолинейное движение.

Равномерным называют такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени проходит одинаковые пути.

Слово «любые» означает, что какими бы малыми ни были равные промежутки времени, пройденные за эти промежутки времени пути при равномерном движении будут равны.

Например, если поезд на достаточно большом перегоне проходит за каждый час 60 км, за каждые полчаса 30 км, за каждую минуту 1 км и т. д., то его движение равномерное. Равномерное движение можно наблюдать на опыте с движущейся тележкой, на которой установлена капельница (рис. 29). Через равные промежутки времени из капельницы падают капли. Измерив расстояния между следами от капель, можно увидеть, что они одинаковы, значит, тележка движется равномерно.

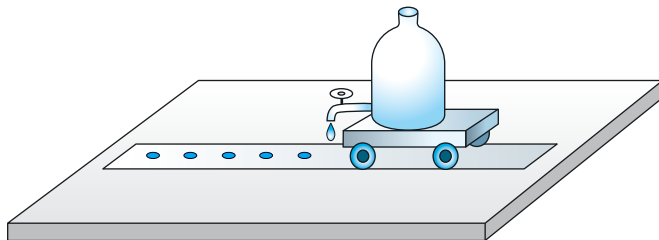


Рис. 29

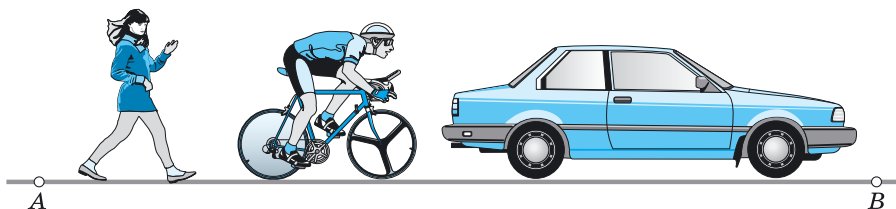


Рис. 30

2. Представьте себе, что из пункта A в пункт B равномерно движутся автомобиль, велосипедист и пешеход (рис. 30). Хотя все три движения равномерные, они отличаются друг от друга: автомобиль движется быстрее всех и первым доедет до пункта B ; затем туда приедет велосипедист и, наконец, дойдёт пешеход. Следовательно, равномерные движения этих трёх тел различаются быстротой движения, иначе говоря, **скоростью**.

3. Чтобы определить скорость равномерно движущегося тела, нужно разделить путь, пройденный телом, на время, в течение которого этот путь пройден:

$$\text{скорость} = \frac{\text{путь}}{\text{время}}.$$

Скорость тела при равномерном движении показывает, какой путь проходит тело в единицу времени.

Скорость — это физическая величина. Её обозначают буквой v , путь — s , время — t . Следовательно, можно записать формулу для нахождения скорости:

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

4. За единицу скорости принимают скорость такого равномерного движения, при котором тело за единицу времени (1 с) проходит путь, равный единице длины (1 м).

Основной единицей скорости является метр в секунду $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$.

Кроме неё, возможны и другие: миллиметр в секунду $\left(\frac{\text{мм}}{\text{с}}\right)$, сантиметр в секунду $\left(\frac{\text{см}}{\text{с}}\right)$, километр в час $\left(\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$. Так, скорость

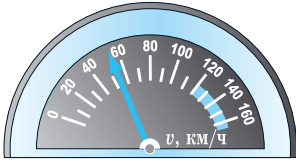


Рис. 31

движущегося транспорта принято выражать в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Например, скорость автомобиля — $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, скорость велосипедиста — $20 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. А скорость улитки удобнее изме-

рять в более мелких единицах. Так, скорость виноградной улитки около $1,5 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$.

Скорость измеряется специальным прибором — *спидометром* (рис. 31). Спидометр есть в каждом автомобиле.

5. Кроме числового значения и единицы, скорость характеризуется ещё и направлением. Представьте себе, что автомобиль, велосипедист и пешеход движутся равномерно (см. рис. 30), но направления их движения различны. Стартовали они одновременно из пункта *A*, но все ли доберутся до пункта *B*?

Величины, которые кроме числового значения имеют направление, называют **векторными**. Числовое значение векторной величины называют модулем.

Скорость — *величина векторная*.

Векторные величины обозначают соответствующими буквами со стрелкой наверху. Так, запись $\vec{v}$ (со стрелкой) означает, что скорость — векторная величина, имеющая направление, а запись v (без стрелки) — это её числовое значение (модуль). На рисунках направление скорости движения тела показывают стрелкой (рис. 32).

Скорость — не единственная векторная величина. Многие физические величины кроме значения имеют и направление.

6. Зная скорость равномерного движения тела, можно определить пройденный им путь за некоторый промежуток времени по формуле $s = vt$.

Предположим, что автомобиль движется равномерно со скоростью 10 м/с. Тогда зависимость пути от времени будет иметь вид $s = 10t$ (м). Вам из математики известно, что такую зависимость называют линейной. Её можно представить не только в виде формулы, но и в виде графика (графически). Графиком зависимости пути от времени будет прямая.

Построим график зависимости $s(t)$ для этого движения. В прямоугольной системе координат на оси абсцисс будем отклады-

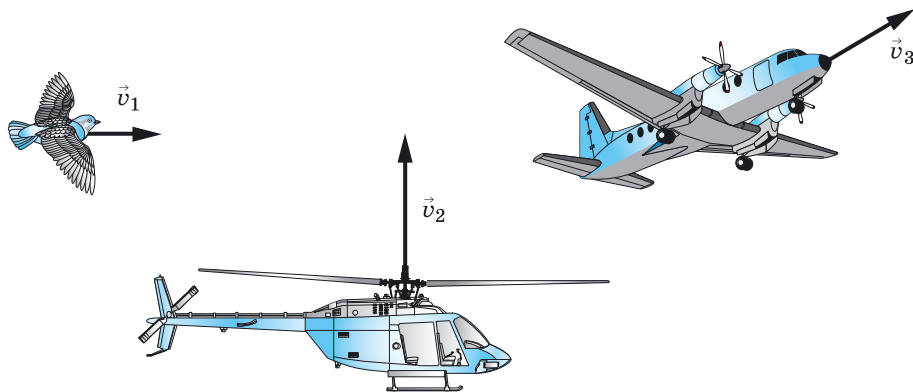


Рис. 32

вать значения времени (ось времени), а на оси ординат — пути (ось пути). Выберем масштаб для каждой оси. Составим таблицу значений.

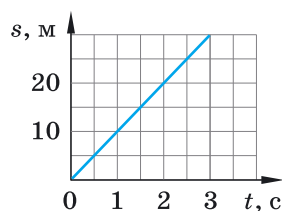
$t, \text{с}$	0	1	2
$s, \text{м}$	0	10	20

Так как зависимость линейная, для построения графика достаточно двух точек. Отметим значения на координатной плоскости и построим график зависимости пути от времени (рис. 33, а).

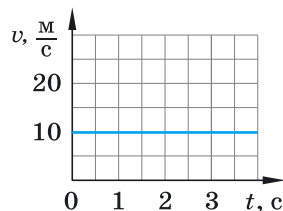
Формула скорости для данного движения будет иметь вид $v = 10 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$, а график зависи-

мости $v(t)$ представлен на рисунке 33, б. На этом графике v — ось скорости тела, t — ось времени.

7*. Для любознательных следует уточнить, что рассмотренные примеры равномерного движения относились только к движению вдоль прямой линии. Поэтому точнее было бы говорить о равномерном прямолинейном движении, поскольку равномерным может быть движение не только



а)



б)

Рис. 33

вдоль прямой. Так, стрелки часов движутся равномерно, но их каждая точка — по окружности.

В этой главе вы будете изучать только прямолинейное движение.

8. Пример решения задачи

Может ли человек перегнать ветер, если известно, что спортивную дистанцию 1500 м он пробегает за 4 мин 10 с? Скорость умеренного ветра $6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а скорость ветра при шторме примерно $21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Прежде чем решать задачу, обратите внимание на единицы времени движения человека и единицы скорости ветра. В таких случаях следует привести время к одинаковым единицам, лучше секундам, так как секунда — основная единица времени.

$$4 \text{ мин } 10 \text{ с} = 4 \cdot 60 \text{ с} + 10 \text{ с} = 250 \text{ с}.$$

Введём обозначения:

v — скорость бегущего человека;

v_1 — скорость умеренного ветра;

v_2 — скорость штормового ветра.

Вспомним, что путь обозначается буквой s , время — буквой t .

Запись условия задачи и её решения выполняется следующим образом:

Дано:		Решение:
$s = 1500 \text{ м}$		По определению скорость равна
$t = 4 \text{ мин } 10 \text{ с}$	250 с	$v = \frac{s}{t};$
$v_1 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$		$v = \frac{1500 \text{ м}}{250 \text{ с}} = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$
$v_2 \approx 21 \frac{\text{м}}{\text{с}}$		
$v — ?$		

Ответ: $v = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Следовательно:

- 1) человек не сможет перегнать штормовой ветер: $v < v_2$;
- 2) человек не сможет обогнать умеренный ветер, но его скорость может быть равна скорости такого ветра: $v = v_1$.

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называют равномерным?
2. Что показывает скорость при равномерном движении? По какой формуле можно рассчитать скорость равномерно движущегося тела?
3. Объясните, как вы понимаете выражение: «Скорость — это физическая величина».
4. Каковы единицы скорости?
5. Каким прибором измеряют скорость?
6. Какие физические величины называют векторными? Объясните, почему скорость — это векторная величина.

Задание 9

1. Кто движется быстрее: велосипедист, скорость которого равна $18 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$, или конькобежец, скорость которого $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?
2. По течению реки равномерно плывёт плот со скоростью $1,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Какой путь он пройдёт за 20 мин?
3. Пользуясь условием задачи 2, постройте график зависимости пути этого равномерного движения от времени.
4. На рисунке 34 представлены графики зависимости пути от времени для двух равномерных движений I и II. Скорость какого движения больше? Определите значения скоростей этих движений.

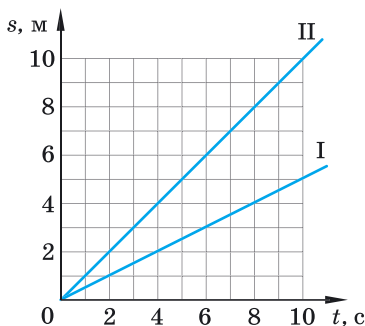


Рис. 34

5. На рисунке 35 представлен график зависимости скорости равномерного движения тела от времени. Определите путь, пройденный телом за 5 с.

6. Как вы думаете, скорость $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ — это большая скорость или маленькая?

7*. Можно ли считать, что скорость равномерного движения зависит от пройденного пути и времени движения? Ответ поясните.

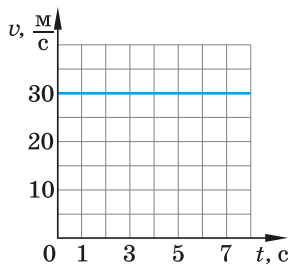


Рис. 35

Лабораторная работа № 4

Изучение равномерного движения

Цель работы:

научиться измерять скорость тела при равномерном движении.

Приборы и материалы:

металлический шарик, жёлоб, секундомер (или метроном), линейка, флажки-индикаторы¹.

Порядок выполнения работы

1. Установите жёлоб горизонтально. Учтите, что движение не будет равномерным из-за трения между шариком и поверхностью жёлоба, подложите под один его конец какой-либо предмет высотой 1—2 см.
2. С небольшим усилием толкните металлический шарик с более высокого конца жёлоба. Если шарик движется неравномерно, повторите опыт несколько раз и добейтесь его равномерного движения. Для этой цели слегка приподнимайте или опускайте более высокий конец жёлоба.
3. Убедитесь в том, что движение шарика равномерное, воспользовавшись флажками-индикаторами. С их помощью отметьте путь, пройденный шариком за каждую секунду. (Время отсчитывает секундомер или метроном на столе учителя.) Измерьте с помощью линейки расстояния между флажками. Если они одинаковы, то движение шарика можно считать равномерным.
4. Определите скорость равномерного движения шарика. Для этого измерьте путь, пройденный шариком за 1 с, 2 с или 3 с.

¹ Флажки-индикаторы изготовьте дома самостоятельно до выполнения лабораторной работы.

Рассчитайте скорость равномерного движения шарика по формуле $v = \frac{s}{t}$.

5. Полученный результат запишите, пользуясь основной единицей скорости.

§ 13. Неравномерное движение.

Средняя скорость

- ✓ Какое механическое движение называют равномерным?
- ✓ Как определить скорость тела при равномерном движении?

1. Равномерное движение встречается в природе нечасто. Строго говоря, идеально равномерно двигаться не может ни одно тело, но можно создать такие условия, при которых движение становится практически равномерным. Попробуйте представить, в какой ситуации автомобиль мог бы двигаться равномерно от пункта *A* к пункту *B* (см. рис. 30). Это могло быть только в том случае, если бы он нигде не тормозил, нигде не останавливался, уже в начальном пункте, т. е. на старте, ехал со скоростью v и проехал пункт *B* с той же скоростью. Такое движение действительно возможно, но только на некотором участке пути автомобиля.

Любое тело, трогаясь с места, разгоняется; остановиться мгновенно оно тоже не может. Представьте движение поезда или автомобиля, движение птицы или своё собственное по дороге из школы домой. На некотором участке пути можно двигаться быстрее или медленнее, где-то придётся остановиться (например, у светофора) и снова начать двигаться дальше. Это примеры **неравномерного движения**.

2. При неравномерном движении скорость тела не остаётся постоянной, поскольку пройденный за одно и то же время путь будет разным на различных участках траектории. Проведем опыт с движущейся тележкой, на которой установлена капельница. Измерив расстояния между следами от капель, падающих через равные промежутки времени из останавливающейся вместе с тележкой капельницы, увидим, что эти расстояния со временем уменьшаются (рис. 36).

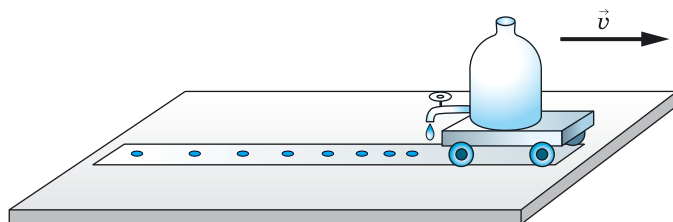


Рис. 36

3. О какой же скорости идёт речь, когда называют числовое значение скорости, например, поезда, идущего из Москвы во Владимир, или самолёта, летящего из Сочи во Владивосток?

В тех случаях, когда нужно узнать скорость неравномерного движения, находят значение **средней скорости** ($v_{\text{ср}}$). Для этого необходимо весь путь s , пройденный телом, разделить на всё время t его движения:

$$v_{\text{ср}} = \frac{s}{t}.$$

В таблице 6 приведены некоторые значения средней скорости движения, встречающиеся в природе и технике.

Таблица 6

Средние скорости движения, $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Улитка	0,0015	«Лада Гранта»	40
Муха	5	Поезд «Сапсан»	77
Воробей	10	Самолёт Ту-204-300	208
Заяц	17	Истребитель МиГ-35	340
Лев	18	Земля вокруг Солнца	30 000

4. Пример решения задачи

Товарный поезд проходит первые 10 км за полчаса, следующие 10 км — за 20 мин и ещё 10 км — за 10 мин. Чему равна средняя скорость поезда на всём пути в 30 км?

Дано:

$$s_1 = s_2 = s_3 = 10 \text{ км}$$

$$t_1 = 0,5 \text{ ч}$$

$$t_2 = 20 \text{ мин}$$

$$t_3 = 10 \text{ мин}$$

$$v_{\text{ср}} = ?$$

Решение:

По определению средняя скорость равна

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

s — весь пройденный поездом путь:

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

t — всё время движения:

$$t = t_1 + t_2 + t_3.$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{s_1 + s_2 + s_3}{t_1 + t_2 + t_3};$$

$$v_{\text{ср}} = \frac{10 \text{ км} + 10 \text{ км} + 10 \text{ км}}{\frac{1}{2} \text{ ч} + \frac{1}{3} \text{ ч} + \frac{1}{6} \text{ ч}} = \frac{30 \text{ км}}{1 \text{ ч}} = 30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ: $v_{\text{ср}} = 30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называют неравномерным?
2. Приведите примеры неравномерного движения.
3. Какая скорость характеризует неравномерное движение?
4. Как определяют среднюю скорость неравномерного движения?

Задание 10

1. Велосипедист за первые 10 с проехал 40 м, за следующие 20 с — 200 м и за последние 10 с — 80 м. Найдите среднюю скорость велосипедиста на каждом из участков и на всём пути.
2. Пользуясь графиком зависимости скорости движения тела от времени (рис. 37), определите его среднюю скорость за 8 с движения.
3. Пользуясь таблицей 6, придумайте задачу на определение средней скорости. Запишите её условие и решение.
4. Определите среднюю скорость подъёма лифта в вашем доме, используя метод оценки.

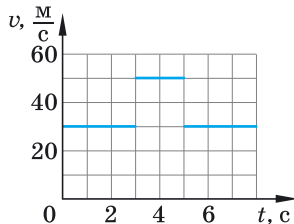


Рис. 37

§ 14. Равноускоренное движение. Ускорение

- ✓ В чём отличие равномерного движения от неравномерного?
- ✓ Какую величину называют векторной?

1. Скорость при различных неравномерных движениях изменяется с течением времени по-разному.

Движение, при котором скорость тела за любые равные промежутки времени увеличивается (или уменьшается) на одно и то же значение, называют равноускоренным.

Санки, скатывающиеся с крутой ледяной горки; падающий на землю камень; поезд, начинающий или заканчивающий своё движение, — всё это примеры равноускоренного движения.

2. При равноускоренном движении скорости одних тел могут измениться очень быстро, скорости других же меняются медленно. Так, скорость поезда за несколько минут может увеличиться до $50\text{—}100 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, а скорость ракеты при запуске — до $2000\text{—}5000 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Для характеристики быстроты изменения скорости при равноускоренном движении вводят специальную физическую величину — **ускорение**.

Ускорение — физическая величина, равная отношению изменения скорости тела ко времени, в течение которого это изменение произошло:

$$\text{ускорение} = \frac{\text{изменение скорости}}{\text{время}}.$$

Ускорение показывает, как изменяется скорость движения тела в единицу времени.

Ускорение обозначают буквой a . Запишем формулу для вычисления ускорения:

$$a = \frac{v - v_0}{t},$$

где v_0 — начальная скорость тела, v — его скорость в момент времени t .

Если начальная скорость тела больше, чем его скорость в момент времени t , значение ускорения получится отрицательным.

3. Основной единицей ускорения является *метр на секунду в квадрате* $\left(\frac{\text{м}}{\text{с}^2}\right)$.

За единицу ускорения принимают ускорение такого равноускоренного движения, при котором за 1 с скорость изменяется на $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, т. е. $\frac{1 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Например, если мотоциклист движется с постоянным ускорением $5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, значит, его скорость за 1 с изменяется на $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

4. Ускорение, как и скорость, имеет направление. Иначе говоря, ускорение — векторная физическая величина ($\vec{a}$). Если ускорение направлено в ту же сторону, что и скорость (рис. 38), то скорость движения увеличивается. Если ускорение противоположно направлению скорости движения, его скорость уменьшается (рис. 39).

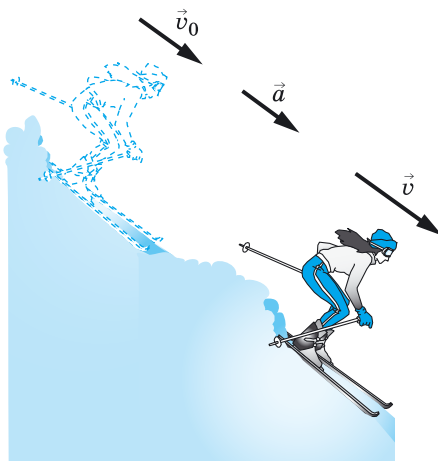


Рис. 38

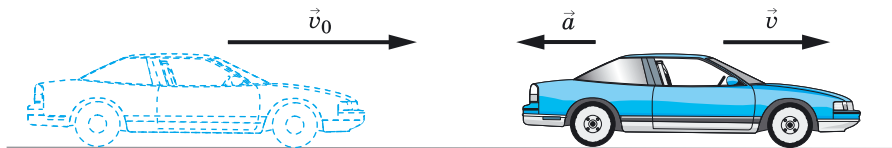


Рис. 39

5. Зная ускорение, можно вычислить скорость равноускоренно движущегося тела в любой момент времени. Для этого умножим на t обе части равенства $a = \frac{v - v_0}{t}$, получим $at = v - v_0$.

$$v = v_0 + at.$$

Обратите внимание, если скорость тела увеличивается, то $a > 0$; если скорость тела уменьшается, то $a < 0$.

6. Пример решения задачи

Автомобиль начинает двигаться из состояния покоя с ускорением $0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Через какое время скорость автомобиля станет равна $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

Дано:

$$v_0 = 0$$

$$v = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$a = 0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$t = ?$

Решение:

По определению ускорения тела

$$a = \frac{v - v_0}{t}.$$

Поскольку $v_0 = 0$, то $a = \frac{v}{t}$ и $t = \frac{v}{a}$;

$$t = \frac{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0,4 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = 50 \text{ с}.$$

Ответ: $t = 50 \text{ с}$.

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называют равноускоренным?
2. Что характеризует ускорение?
3. Назовите основную единицу ускорения. Как вы думаете, могут ли быть другие единицы ускорения?
4. Как вы понимаете выражение: «Ускорение — векторная величина»?
5. Как изменяется скорость тела, если его ускорение отрицательно?

Задание 11

1. Напишите формулу скорости тела, движущегося равноускоренно при условии: а) начальная скорость тела равна нулю; б) начальная скорость тела равна v_0 .
2. На рисунке 40 указаны значения начальной скорости v_0 и ускорения a для трёх тел. Стрелками показаны их направления. Запишите формулу скорости для каждого случая и определите, чему будут равны скорости этих тел через 4 с после начала движения?
3. Поезд в течение 10 с тормозит и останавливается. Чему равно его ускорение, если начальная скорость поезда $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$? Сделайте ри-

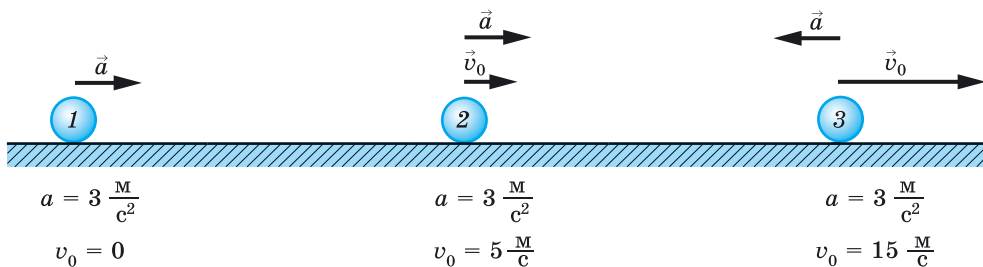


Рис. 40

сунок и покажите направления векторов скорости и ускорения.

4. Велосипедист спускается с горы с ускорением $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Чему будет равна его скорость через 30 с, если начальная скорость велосипедиста $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$?

5. Постройте график зависимости скорости движения тела от времени $v(t)$, используя данные задачи 3.

6. На рисунке 41 представлены графики зависимости скорости движения от времени для четырёх тел. Пользуясь графиком:

- опишите характер движения этих тел;
- определите, в какой момент времени будут равны скорости тел I и II, I и IV, II и III;
- найдите ускорения этих тел.

7*. В одной системе координат постройте графики зависимости скорости движения от времени $v(t)$ для двух тел. Одно тело движется с ускорением $2 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ и начальной скоростью, равной нулю,

другое — с ускорением $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ и начальной скоростью $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Определите по графикам, через какое время скорости этих тел будут одинаковы.

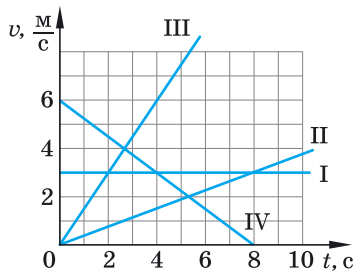


Рис. 41

§ 15. Инерция

- ✓ Какое движение называют равномерным; равноускоренным?
- ✓ Приведите примеры действия одного тела на другое.

1. В предыдущих параграфах мы не выясняли, по каким причинам в одних случаях тело движется равномерно, в других его скорость меняется.

Как показывают многочисленные эксперименты и наш повседневный опыт, скорость тела может изменяться только под действием на него другого тела или тел. Например, движущаяся тележка на демонстрационном столе, автомобиль с выключенным двигателем на шоссе или поезд обязательно остановятся. Причина этого явления — действие соприкасающейся с движущимся телом поверхности. Если же тело покоится и скорость его

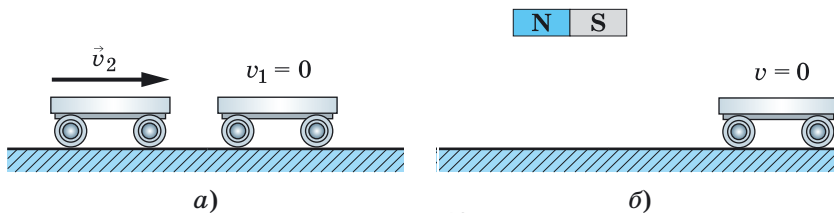


Рис. 42

равна нулю, то привести это тело в движение (при этом оно должно приобрести какую-либо скорость) может только другое тело. Так, покоящуюся тележку может привести в движение другая тележка, движущаяся с определённой скоростью (рис. 42, а), или рука человека, или же поднесённый к металлической тележке магнит (рис. 42, б).

2. Что же произойдёт с телом, если на него не будут действовать никакие другие тела? В реальных земных условиях такой опыт поставить практически невозможно, так как Земля притягивает к себе все тела.

Можно, однако, и на Земле попытаться создать условия, при которых движение тела можно считать равномерным. Если, например, исключить все препятствия, которые могут встретиться на горизонтальном пути прямолинейно движущегося тела, то его скорость останется постоянной. Подобные опыты относятся к мысленным экспериментам, и в реальности их провести невозможно. Однако можно провести несколько опытов в условиях, близких к идеальным.

Металлический шарик скатывается с наклонной плоскости (рис. 43), приобретает скорость $\vec{v}$ и продолжает двигаться по горизонтальной поверхности. Условия, при которых шарик движется горизонтально, будем менять. Первый раз на поверхности насыпан песок (рис. 43, а), во втором случае шарик движется по поверхности демонстрационного стола (рис. 43, б), а в третьем — по гладкому металлическому листу (рис. 43, в). Как видно из опытов, в каждом последующем случае шарик дольше сохраняет свою скорость и его движение всё в большей степени приближается к равномерному. Следовательно, в «идеальном случае» подобное равномерное движение будет продолжаться бесконечно долго.

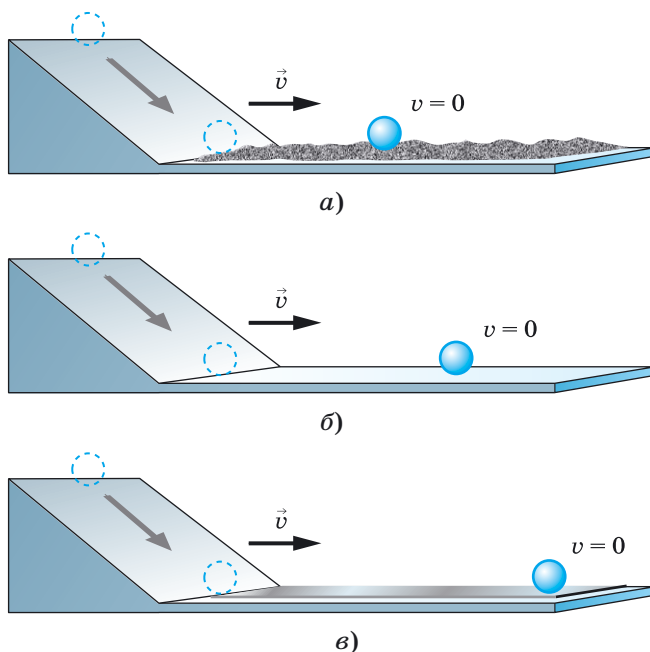


Рис. 43

3. Итак,

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

Сформулированный вывод является одним из основных законов природы, его называют **законом инерции**. Закон инерции выполняется только в тех случаях, когда тело отсчёта покоится или движется равномерно прямолинейно.

Явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него других тел называют инерцией.

Закон инерции был открыт в конце XVI — начале XVII в. великим итальянским учёным **Галилео Галилеем** (1564—1642). Нам сегодня кажется, что закон прост и очевиден. Однако четыре столетия назад Галилею понадобилось провести огромное число опытов по изучению движения тел, чтобы прийти к такому выводу. Закон инерции Галилея перечёркивал бытовавшее более тысячелетия заблуждение о том, что тело само по себе двигаться не может.

Вопросы для самопроверки

1. Какова причина изменения скорости тел?
2. Что происходит с телами, если на них не действуют другие тела?
3. В чём заключается явление инерции?
- 4*. Почему утверждение «Если на тело не действуют другие тела, то оно либо находится в покое, либо прямолинейно равномерно движется» является законом? Ответ обоснуйте.

§ 16. Масса

✓ В каких случаях скорость движения тела остаётся постоянной?

1. Скорость тела может изменяться только в том случае, если на него действует другое тело. Например, если на неподвижный шар А натолкнётся такой же движущийся шар Б, то шар А придёт в движение, т. е. приобретёт некоторую скорость. При этом скорость шара Б тоже изменится, поскольку на него оказывает действие шар А. Таким образом, действие шаров друг на друга оказывается взаимным, и говорят, что шары *взаимодействуют* друг с другом. Следствием их взаимодействия является изменение скорости тел.

Возникает вопрос: как изменяется скорость тел при их взаимодействии? Для исследования этой проблемы сделаем несколько опытов.

Возьмём две одинаковые тележки. Приведём их в движение навстречу друг другу с одинаковыми скоростями v (рис. 44, а). После соударения тележки доедут до преград, установленных на одинаковых расстояниях от места взаимодействия, за одинаковое время и, следовательно, разъедутся тоже с одинаковыми скоростями v' (рис. 44, б).

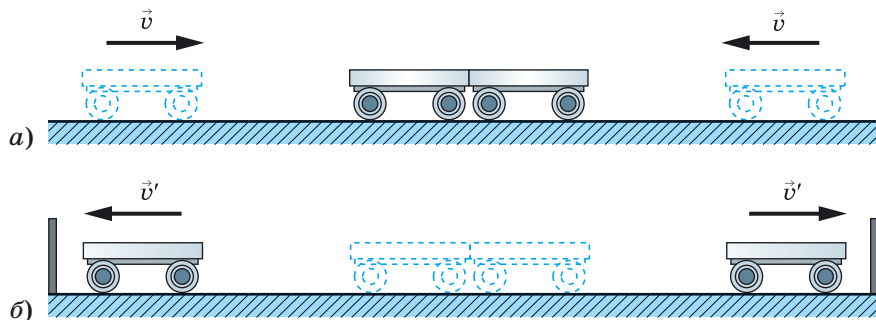


Рис. 44

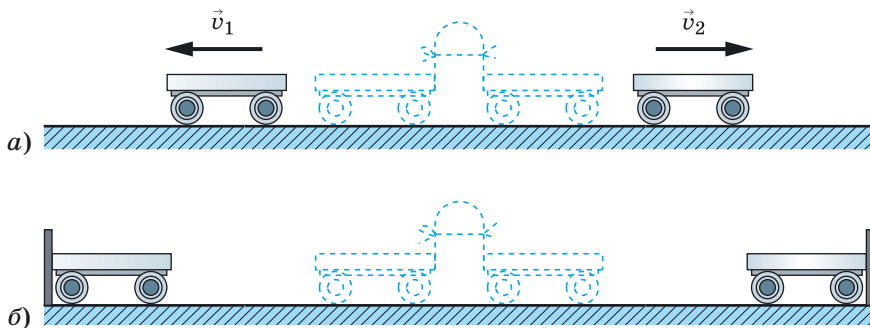


Рис. 45

Теперь изменим условия опыта. Возьмём упругую пластину, согнём её и свяжем нитью. Плотнo приставим две тележки к этой пластине и пережжём нить. Пластина резко выпрямится, и тележки начнут двигаться (рис. 45, а). Можно заметить, что они одновременно достигнут преград, находящихся на одинаковом расстоянии от их первоначального положения (рис. 45, б). Следовательно, тележки начали двигаться с одинаковыми скоростями v ($v_1 = v_2 = v$).

Таким образом, *если тележки одинаковы, то в результате взаимодействия скорости их изменяются тоже одинаково*. Вы можете найти много примеров, подтверждающих сделанный вывод. Так, например, два мальчика одинаковой комплекции (одинаково тяжёлых или одинаково лёгких), стоящие рядом на коньках, оттолкнувшись друг от друга, разъедутся с одинаковой скоростью и на одинаковые расстояния.

2. Как же изменятся скорости тел, если взаимодействующие тела неодинаковы? Будут ли одинаковы скорости двух мальчиков на коньках, отталкивающихся друг от друга, если один из них большой, а другой маленький?

Вернёмся к опыту с тележками и несколько изменим его, положив на одну из тележек груз (рис. 46). Теперь после взаимодействия тележки будут вести себя по-разному. После пережигания нити нагруженная тележка приобретёт меньшую скорость, и ей потребуется большее время, чтобы доехать до преграды. Это происходит потому, что тележки обладают разными **массами**. Тележка, скорость которой изменялась больше, имеет меньшую массу.

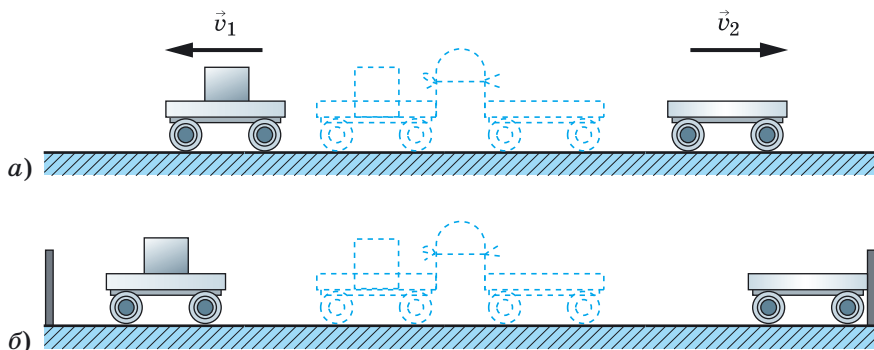


Рис. 46

3. Что же характеризует масса тела, какое его свойство?

Вы уже знаете, что скорость тела не может изменяться мгновенно: тело стремится по инерции или сохранить состояние покоя, или двигаться с постоянной скоростью. В начале последнего опыта обе тележки находились в состоянии покоя. При одинаковом времени взаимодействия скорость нагруженной тележки по величине изменилась меньше, чем ненагруженной.

Значит, тела обладают некоторым свойством, характеризующим их способность по-разному изменять скорость в процессе взаимодействия. Это свойство тел называют **инертностью**. Таким образом, инертность — свойство тела, которое заключается в том, что для изменения скорости ему нужно время: более инертным будет тело, которому для изменения скорости на некоторую величину требуется большее время. Нагруженная тележка более инертна, чем ненагруженная. Иначе говоря, более инертные тела имеют бóльшую массу, лёгкие же тела менее инертны, т. е. имеют меньшую массу.

Теперь можно сделать вывод: *масса тела является характеристикой его инертности*. Говорят, что **масса есть мера инертности тела**.

Вопросы для самопроверки

1. Что можно сказать о скоростях тележек одинаковой массы, которые они приобретут после столкновения?
2. Как изменятся скорости взаимодействующих тел, если их массы различны?

3. Какое свойство тела называют инертностью?
4. Как вы понимаете утверждение: «Масса есть мера инертности тела»?

Задание 12

1. Объясните, почему при выстреле снаряд, вылетающий из орудия, и откатывающееся при этом орудие имеют разные скорости.
2. На левую тележку (см. рис. 45) положили металлический кубик, на правую — деревянный. Оба кубика одинакового объёма. Какая из тележек приобретёт большую скорость после пережигания нити и почему?
3. Левая тележка (см. задачу 2) приобрела скорость $5 \frac{\text{см}}{\text{с}}$, а правая — $10 \frac{\text{см}}{\text{с}}$. Масса какой из тележек больше и во сколько раз?
4. Поставьте на тележку брусок (рис. 47) и потяните её за верёвку. Первый раз резко и быстро приведите тележку в движение, второй раз — медленно. Опишите, что произойдёт в каждом случае и почему.
- 5*. Как вы понимаете утверждение: «Инерция — физическое явление, а инертность — свойство тел»? Ответ обоснуйте.

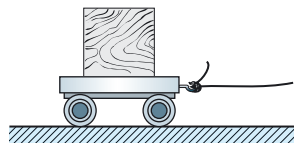


Рис. 47

§ 17. Измерение массы

✓ вспомните, как можно измерить массу тела, используя весы.

1. Масса — *физическая величина*; обозначается буквой m . Как и любая физическая величина, масса может быть измерена.

Основной единицей массы является *килограмм (кг)*. Эталон килограмма — это изготовленный из металлического сплава цилиндр, хранящийся в Палате мер и весов во Франции¹. Массу любого тела можно определить, сравнивая её с эталоном. Во всех странах есть копии эталона, в соответствии с которыми изготавливают гири, применяемые при взвешивании тел.

На практике часто используют и другие единицы массы, более удобные для выражения больших или совсем малых масс: *тонна (т)*, *грамм (г)*, *миллиграмм (мг)*.

$$1 \text{ т} = 1000 \text{ кг}; 1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}; 1 \text{ мг} = 0,001 \text{ г}.$$

¹ Развитие технологий привело к созданию более точного, уже не материального, эталона. Это не скажется при бытовом применении, но значительно для современного развития науки.

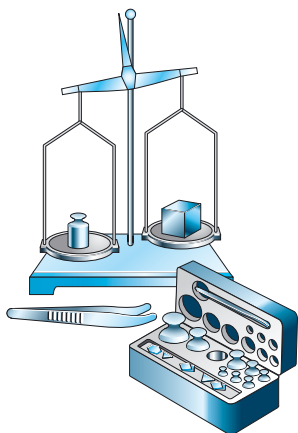


Рис. 48

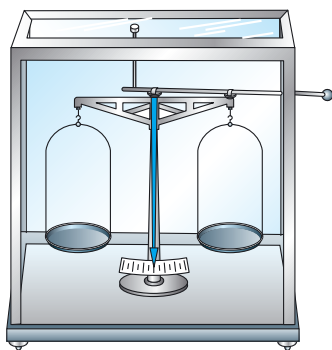
2. Любое тело в природе — от самых огромных небесных тел до очень маленьких элементарных частиц — обладает массой, и эту массу можно измерить. Способы измерения массы бывают разные. Можно определять массу тел, сравнивая скорости, приобретённые телами в результате их взаимодействия. Так определяют массы таких больших тел, как планеты или их спутники, или таких маленьких частиц, как атомы или молекулы.

Самый простой способ измерения массы тела — это взвешивание, например, с помощью рычажных весов.

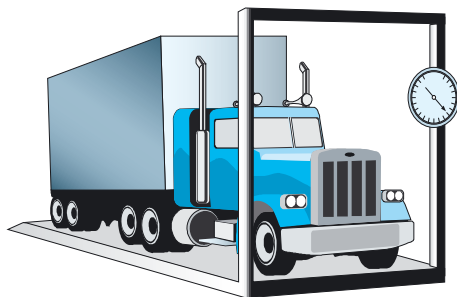
3. Рычажные весы представляют собой коромысло, к концам которого подвешены чашки (рис. 48). Коромысло прикреплено к вертикальному стержню так, что может свободно колебаться. К весам прилагается набор гирь (разновес). На одну чашку весов кладут тело, массу которого измеряют, на другую — гири. Если массы гирь и взвешиваемого тела равны, то коромысло весов придёт в равновесие и примет строго горизонтальное положение.

Каждые весы имеют свой предел измерения, как правило, равный массе всех гирь, а цену деления весов определяет самая маленькая гиря из комплекта.

4. В зависимости от того, какие тела надо взвешивать и с какой точностью, существуют самые разные виды весов.



а)



б)

Рис. 49

Для очень точных измерений используют специальные аналитические весы, которые всегда находятся в стеклянном коробе (рис. 49, а), чтобы защитить их даже от малейшего сквозняка и пыли. Работать руками с аналитическими весами нельзя; для взвешивания используются специальные рычаги, находящиеся внутри стеклянного короба. Существуют весы, для взвешивания на которых особая точность не нужна, например при определении массы нагруженной машины или даже железнодорожного вагона (рис. 49, б).

5. Однако не все тела можно взвесить. Нет весов для очень больших и очень маленьких тел, и поэтому их массы можно определить, только сравнивая изменения их скоростей при взаимодействии.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите единицы массы. Объясните, почему их несколько.
2. Какие способы измерения массы вы знаете?
3. Почему масса является физической величиной?
4. Что собой представляют учебные рычажные весы?
5. Как определить массу тела при помощи рычажных весов?
6. Всегда ли можно определить массу тела с помощью весов? Ответ поясните.

Лабораторная работа № 5

Измерение массы тела на рычажных весах

Цель работы:

научиться пользоваться рычажными весами и определять массу тел с их помощью.

Приборы и материалы:

весы, разновес, взвешиваемые тела разной массы.

Порядок выполнения работы

1. Изучите правила взвешивания на рычажных весах:
 - а) перед взвешиванием необходимо уравновесить весы;
 - б) взвешиваемое тело кладут на левую чашку весов, а гири — на правую (для левшей — наоборот);
 - в) взвешиваемое тело и гири кладут на чашку осторожно, чтобы не испортить весы;

- г) жидкие, сыпучие, горячие тела необходимо ставить на чашки весов так, чтобы при этом их не испачкать;
- д) масса взвешиваемых тел не должна превышать максимальную массу, на которую рассчитаны весы;
- е) мелкие гири нужно брать пинцетом, крупные — бумажкой, чтобы не изменить их массу;
- ж) уравнивать взвешиваемое тело начинают гирями большей массы, затем более мелкими, иначе может не хватить мелких гирь.
2. Измерьте массу нескольких твёрдых тел.
3. Определите абсолютную погрешность измерения весами.
4. Запишите результаты измерений в таблицу 7, учитывая погрешность измерений.

Таблица 7

<i>№ опыта</i>	<i>Взвешиваемое тело</i>	<i>Измеренное значение массы тела, г</i>	<i>Абсолютная погрешность измерения весами, г</i>	<i>Результат измерения, г</i>
1				
2				
3				

5*. *Дополнительное задание.* Продумайте и составьте план опыта по взвешиванию жидкости. Определите массу жидкости и запишите результат измерений.

§ 18. Плотность вещества

- ✓ Всегда ли два тела одинакового объёма имеют одну и ту же массу?
- ✓ Как можно определить объём твёрдого тела; жидкости?

1. Выясним, от чего зависит масса тел. Для этого проделаем опыт. Возьмём два металлических кубика одинакового объёма: один свинцовый, другой алюминиевый. Взвесив эти ку-

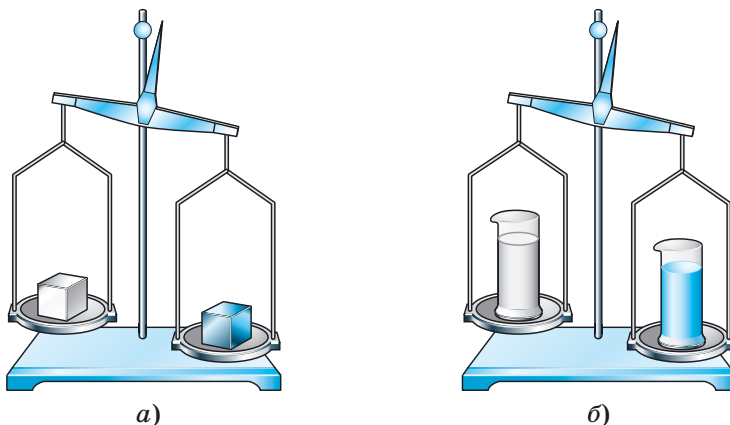


Рис. 50

бики, заметим, что массы у них разные: масса свинцового кубика больше, чем алюминиевого (рис. 50, а). Свинец и алюминий — разные вещества, следовательно, массы кубиков одинаковых объёмов зависят от рода их вещества.

Прделаем ещё один опыт: нальём в мерные сосуды по 100 мл воды и подсолнечного масла и взвесим их. Увидим, что при одинаковых объёмах массы этих жидкостей разные (рис. 50, б). Масса воды окажется больше, чем масса подсолнечного масла. Аналогично первому опыту можем сказать, что массы разных жидкостей одинакового объёма зависят от рода веществ.

2. Из этих наблюдений можно сделать вывод о том, что массы разных тел одинакового объёма различны. Это отличие определяется физической величиной, которую называют **плотностью вещества**.

Плотность показывает, чему равна масса единицы объёма вещества.

Чтобы определить плотность вещества, надо массу тела разделить на его объём:

$$\text{плотность} = \frac{\text{масса}}{\text{объём}}.$$

3. Плотность обозначают буквой ρ (греч. буква «ро»). Теперь запишем формулу для вычисления плотности:

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

4. Поскольку основной единицей массы является кг, а объёма — м^3 , то основной единицей плотности будет соответственно *килограмм на кубический метр* $\left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}\right)$.

На практике используют и другие единицы плотности: *грамм на кубический сантиметр* $\left(\frac{\text{г}}{\text{см}^3}\right)$, *тонна на кубический метр* $\left(\frac{\text{т}}{\text{м}^3}\right)$.

Например, плотность меди $8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Это число означает, что масса меди объёмом 1 м^3 равна 8900 кг .

Плотность вещества из $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ можно перевести в $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ следующим образом.

Так как $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$, а $1 \text{ м}^3 = 1\,000\,000 \text{ см}^3$, то

$$8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{8900 \cdot 1000}{1\,000\,000} \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

5. Сравним плотность тех веществ, которые были использованы в опытах. Плотность свинца $11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, алюминия —

$2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, воды — $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, подсолнечного масла — $926 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Теперь

становится понятно, почему твёрдые тела и жидкости одинакового объёма имеют разные массы. Это объясняется различной плотностью веществ, из которых они состоят.

Разной плотностью обладают не только твёрдые вещества или жидкости, но и газы. Так, кислород обладает большей плотностью, чем воздух. Плотность водорода гораздо меньше, чем плотность воздуха или кислорода.

Плотности всех (или почти всех) существующих в природе веществ — твёрдых тел, жидкостей и газов — уже давно определены. Некоторые из них представлены в таблицах 8—10.

Таблица 8
Плотности твёрдых веществ

<i>Твёрдое вещество</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	<i>Твёрдое вещество</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
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
Латунь	8500	8,5	Лёд	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 9
Плотности жидкостей (при температуре 20 °С)

<i>Жидкость</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	<i>Жидкость</i>	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
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 10
Плотности газов
(при нормальном атмосферном давлении и температуре 20 °С)

Газ	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Газ	$\rho, \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	$\rho, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
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

6. Зная плотности веществ, можно, не пользуясь весами, определить массу любого тела, если известен его объём.

Так, если вы хотите определить массу воды, налитой в литровую банку, надо воспользоваться формулой плотности и записать её в виде:

$$m = \rho V.$$

Плотность воды $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; объём воды в литровой банке, равный 1 л, следует выразить в основных единицах объёма:

$$1 \text{ л} = 1 \text{ дм}^3 = 0,001 \text{ м}^3.$$

Следовательно, масса воды в банке равна:

$$m = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,001 \text{ м}^3 = 1 \text{ кг}.$$

Вопросы для самопроверки

1. Что показывает плотность вещества?
2. Назовите единицы плотности.
3. Плотность стекла равна $2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Что это означает?
4. Используя данные таблиц плотностей, запишите плотности железа, нефти и водяного пара. Сравните эти числовые значения и объясните причину их различия.
5. Как найти массу тела, зная его объём и плотность?

6*. Записав формулу плотности $\rho = \frac{m}{V}$, ученик прочитал её так: «Плотность вещества прямо пропорциональна массе тела и обратно пропорциональна его объёму». Прав ли он? Ответ поясните.

Задание 13

1. Чтобы убедиться в правильности полученного в конце параграфа ответа о массе воды, налитой в литровую банку, произведите взвешивание. (Не забудьте сначала взвесить пустую банку!) Совпали ли результаты вашего эксперимента с вычисленным значением?
2. Определите плотность мела, если масса его кусочка равна 3,6 г, а объём — 1,8 см³.
3. Объём какого из двух шариков одинаковой массы больше — железного или гранитного?
4. Представьте значения плотности серебра, латуни, цинка, стекла и льда в виде столбчатой диаграммы.
5. В мензурки *A* и *B* налиты вода и спирт (рис. 51). Массы жидкостей одинаковы. Найдите в таблице плотности этих жидкостей и определите, в какой мензурке вода, а в какой — спирт.
6. Оцените объём своего тела, если известно, что средняя плотность вещества тела человека близка к плотности воды.

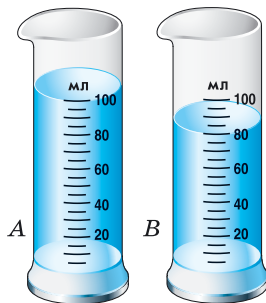


Рис. 51

Лабораторная работа № 6

Измерение плотности вещества твёрдого тела

Цель работы:

научиться измерять плотность вещества с помощью весов и измерительного цилиндра (мензурки).

Приборы и материалы:

весы, разновес, измерительный цилиндр (мензурка), твёрдое тело на нити.

Порядок выполнения работы

1. Взвесьте тело на весах и определите его массу¹.

¹ Результаты измерений (m и V) записываются без учёта абсолютной погрешностей.

2. Измерьте объём твёрдого тела. Для этого:
 - а) налейте в мензурку воду и измерьте её объём (V_1);
 - б) опустите тело в воду, удерживая его за нить, и снова измерьте объём жидкости (V_2);
 - в) вычислите объём тела: $V = V_2 - V_1$.
3. Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 11.
4. Определите плотность данного твёрдого тела, используя формулу: $\rho = \frac{m}{V}$.
5. По таблице плотностей твёрдых веществ определите название вещества, из которого изготовлено тело¹.

Таблица 11

<i>Масса тела m, г</i>	<i>Объём V, см³</i>			<i>Плотность вещества твёрдого тела ρ, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$</i>	<i>Название вещества</i>
	<i>Объём воды V_1</i>	<i>Объём воды с телом V_2</i>	<i>Объём тела V</i>		

§ 19. Сила

✓ Какие изменения могут произойти с движущимися телами в результате их взаимодействия?

1. Со словом «сила» вы знакомы давно. Если нужно сдвинуть с места покоящееся тело или остановить движущееся, то необходимо приложить определённое мышечное усилие. Это усилие может быть бóльшим или меньшим. Не случайно говорят: «Этот человек сильнее другого», «Лошадь сильнее мула» и т. д. Слово «сила» употребляется и при описании многих явлений природы — сильный ветер, сильный снегопад и др. Подчас оно характеризует и совсем не связанные с мышечным усилием

¹ Не удивляйтесь, что полученное вами значение плотности не совпадает точно со значением плотности вещества в таблице. Это связано с тем, что в работе не учтены погрешности измерений.

понятия, например сильная боль, сильное чувство. Однако все эти слова дают только бытовую, житейскую характеристику понятия «сила».

Для того чтобы ввести физическое понятие «сила», чтобы определить его как физическую величину, необходимо выяснить, какое свойство или явление это понятие характеризует и может ли быть измерено.

2. Выясним прежде всего, что же характеризует физическое понятие «сила».

Лежащий на поверхности стола стальной шарик можно привести в движение, поставив напротив него магнит, как показано на рисунке 52, *а*. Скорость шарика возрастёт от нуля до какого-то значения v_1 , т. е. шарик приобретёт ускорение a_1 . Заменяв магнит на более мощный (рис. 52, *б*), который сильнее будет притягивать стальной шарик, можно наблюдать, что и конечная скорость движения шарика (за тот же промежуток времени, что и в первом опыте) v_2 , и его ускорение a_2 возрастут.

Повторим теперь опыт, который проводили, анализируя взаимодействие двух демонстрационных тележек (см. рис. 45). Изменяя длину нити, которой стягивается упругая пластина, мы тем самым изменяем усилие, действующее на тележки. Чем сильнее мы стянем эту пластину, тем резче и интенсивнее она будет распрямляться после пережигания нити. И в этом случае и ускорения, и скорости, с которыми тележки разъедутся, будут зависеть от усилия, приложенного к ним со стороны пластины.

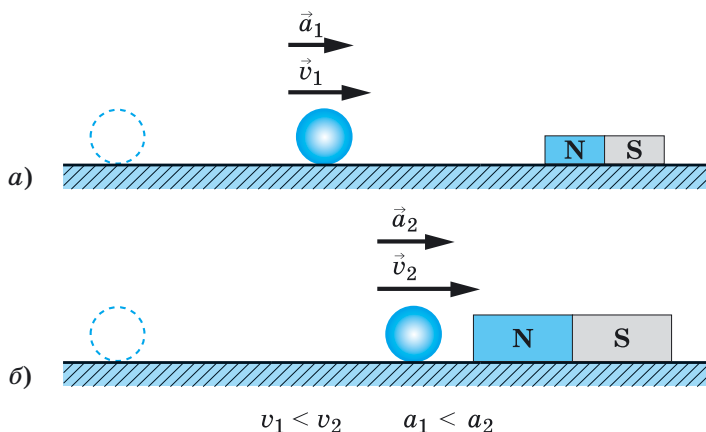


Рис. 52

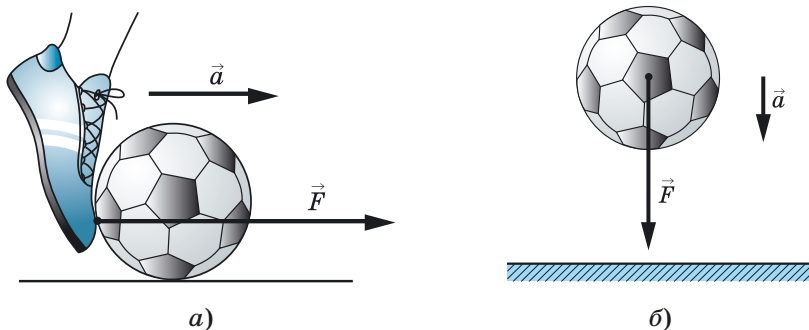


Рис. 53

Таким образом, действие одного тела на другое, иначе говоря, взаимодействие тел, может быть различным.

3. В физике для количественной характеристики взаимодействия тел вводится физическая величина «сила».

Таким образом, **сила — мера взаимодействия тел**. Силу обозначают буквой F . Как вы видели на опытах, она может быть больше или меньше, т. е. иметь различные числовые значения.

4. Сила характеризуется не только значением, но и точкой приложения и направлением. Иначе говоря, сила — *величина векторная* ($\vec{F}$). Так, в результате взаимодействия ноги футболиста и мяча (рис. 53, а) сила, действующая на мяч, направлена горизонтально, а взаимодействие мяча с землёй (рис. 53, б) приводит к действию на мяч силы, направленной вниз. Обратите внимание на то, что ускорение, возникшее у тела в результате действия силы, всегда направлено в ту же сторону, что и сила.

5. Итак, проделанные нами опыты (см. рис. 45, 52) позволяют предположить, что ускорение тела должно быть прямо пропорционально приложенной к нему силе. В том, что мы не ошибаемся, нас убеждают результаты многочисленных экспериментов по исследованию этой зависимости, проводившихся физиками. Следовательно,

$$a \sim F.$$

Однако наблюдения и опыты показывают, что ускорение тела зависит также и от его инертных свойств, т. е. от массы тела (§ 16). И зависимость эта обратно пропорциональная:

$$a \sim \frac{1}{m}.$$

Таким образом, можно записать:

$$a = \frac{F}{m},$$

т. е. ускорение тела прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе.

Из полученного уравнения можно определить силу, действующую на тело, если известны его масса и возникающее ускорение:

$$F = ma.$$

Основной единицей силы является *ньютон (Н)*. 1 Н — это такая сила, которая сообщает телу массой 1 кг ускорение $1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Вопросы для самопроверки

1. Каков физический смысл понятия «сила»?
2. Как вы понимаете выражение: «Сила есть мера взаимодействия тел»?
3. Назовите единицу силы.
4. По какой формуле можно вычислить силу?
5. Могут ли сила и ускорение быть направлены в противоположные стороны? Ответ поясните.
- 6*. Может ли тело, на которое действует одна сила, двигаться без ускорения; находиться в покое? Ответ поясните.

Задание 14

1. На каждом из рисунков 54 изображено тело и указаны направления силы $\vec{F}$, скорости $\vec{v}$ и ускорения $\vec{a}$. Внимательно проанализируйте каждую из ситуаций и ответьте, какие из рисунков верны, а какие — нет.

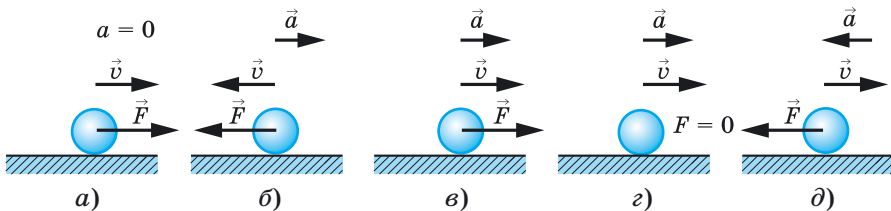


Рис. 54

2. Скорости двух автомобилей одинаковой массы увеличиваются на $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Первому автомобилю понадобилось для этого 30 с, а второму — 45 с. На какой из автомобилей действовала бóльшая сила во время движения? Ответ поясните.

3. Под действием какой силы тело массой 500 г приобретает ускорение $5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$?

4. В каком направлении движется тело, изображённое на рисунке 55? Можно ли ответить на этот вопрос?

5*. Как вы понимаете выражение: «Сила является причиной ускорения тела»?

6*. Постройте график зависимости ускорения тела массой m от действующей на него силы.

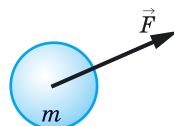


Рис. 55

§ 20. Измерение силы

✓ Что такое деформация тела? Приведите примеры деформаций.

✓ Как определить цену деления шкалы прибора?

1. Используя формулу $F = ma$, можно определить значение силы, если известны масса и возникающее в результате действия силы ускорение. Подобный способ нахождения значения физической величины называют косвенным измерением. Существует ли способ прямого измерения силы, аналогичный измерению длины, времени, массы и т. д.?

Вероятно, вы сразу вспомните про силомер — медицинский прибор, измеряющий мускульную силу вашей руки. Возникает вопрос: есть ли такой прибор или приборы, с помощью которых можно измерять любые силы? Если есть, то как он действует?

2. Для того чтобы выяснить, как можно измерять силы, вернёмся к понятию «сила».

Если на гибкую линейку положить сверху груз, то она прогнётся под действием силы $\vec{F}$ (рис. 56). Резиновый мяч изменит свою форму, если на него подействует человек с некоторой силой $\vec{F}$ (рис. 57). В обоих случаях действие на тело силы приводит к изменению не скорости тела, а его формы, т. е. к его

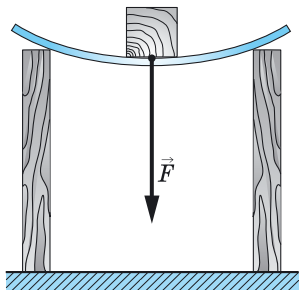


Рис. 56

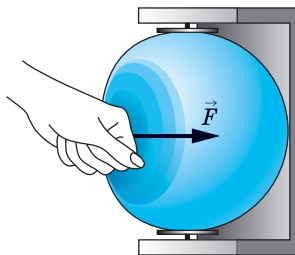


Рис. 57

деформации. Деформация — другое следствие взаимодействия тел.

Деформация тел, возникающая под действием силы, может быть разной и зависит от действующей силы. Чтобы убедиться в этом, достаточно изменить (увеличить или уменьшить) действующую на линейку или мяч силу. Деформация соответственно увеличится или уменьшится. По величине деформации судят о значении силы.

3. Прибор для измерения силы называют **динамометром**. Слово «динамометр» греческого происхождения и в переводе означает «силомер».

Основной частью динамометра является пружина, растяжение которой в результате деформации характеризует значение действующей силы. В этом заключается принцип его действия.

Рассмотрим устройство динамометра (рис. 58). Пружина динамометра в верхней части закреплена. В нижней части имеется специальный индикатор (стрелка), который показывает удлинение пружины под действием растягивающей её силы.

Основным обязательным условием работы динамометра является **упругая деформация** пружины, т. е. такая деформация, которая после снятия нагрузки полностью исчезает, пружина при этом возвращается в исходное положение.

4. Нулевая отметка динамометра соответствует положению стрелки при нерастянутой пружине (см. рис. 58). Начнём постепенно увеличи-

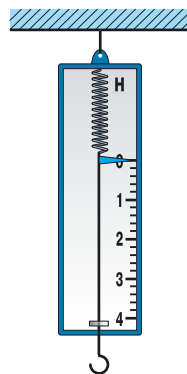


Рис. 58

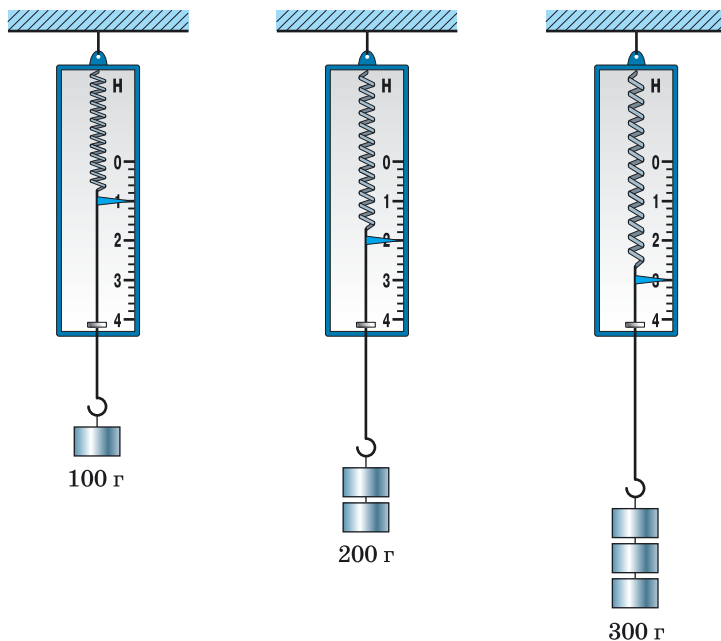


Рис. 59

вать нагрузку, подвешивая грузы массой 100 г, 200 г, 300 г (рис. 59) и т. д. В результате взаимодействия с Землёй грузы, смещаясь вниз, начнут растягивать пружину. Удлинение пружины будет прямо пропорционально действующей силе. В этом нас убедит одинаковое увеличение расстояний между предыдущим и последующим показаниями стрелки на пружине (0—1, 1—2, 2—3).

5. Динамометры по своему внешнему виду и конструкции бывают разными (рис. 60). Однако принцип их действия, в том числе и медицинского силомера, один и тот же: в них используется зависимость деформации пружины от приложенной к ней силы.

Вопросы для самопроверки

1. С помощью какого прибора может быть измерена сила?
2. Каков принцип действия динамометра?
3. Какую деформацию называют упругой?

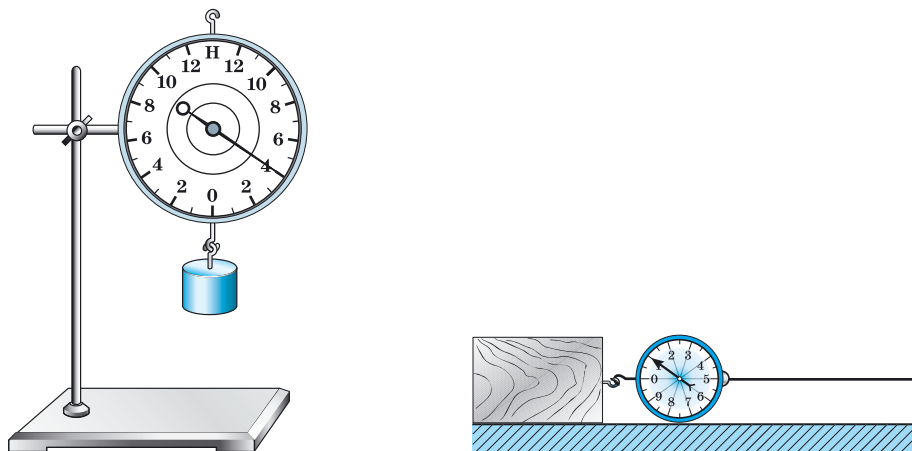


Рис. 60

4. Определите значения сил, которые показывают динамометры (см. рис. 60). Запишите значение сил с учётом абсолютной погрешности измерения.

§ 21. Международная система единиц

✓ Какие единицы длины вам известны?

1. При введении физической величины обязательно указывают её единицу. Некоторые единицы вы уже знаете. Значение практически каждой физической величины может выражаться в различных единицах. Так, расстояние может измеряться в метрах, километрах, сантиметрах, миллиметрах. Вы можете вспомнить и назвать ещё и другие единицы длины. (Здесь вам поможет не опыт, а знание русской и мировой литературы.) Это, например, миля — морская и сухопутная (они разные), ярд, дюйм; это и старинные русские единицы — локоть, сажень и т. д.

Такое разнообразие объясняется тем, что раньше единицы величин выбирались произвольно и в разных странах по-разному.

В последние десятилетия XX в. во всём мире наблюдалось стремление упростить и сократить число различных единиц величин, хотя до сих пор температуру в США измеряют в градусах Фаренгейта, а не Цельсия, как во всех европейских странах.

Скорость, например, на море измеряют в узлах, а на суше — в $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Массу же алмаза традиционно выражают в каратах, а объём нефти — в баррелях и т. д.

2. В настоящее время в большинстве стран мира принята **Международная система единиц** (сокращённо пишут **СИ** — **система интернациональная**). С этой системой могут быть соотнесены любые специальные единицы, принятые в разных странах и разных отраслях науки и техники.

Международная система единиц построена на базе семи единиц физических величин, называемых *основными*. С тремя из них — единицами длины, времени и массы — вы уже знакомы. Это — метр, секунда, килограмм. 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. Так, единицей скорости в СИ является $\frac{\text{м}}{\text{с}}$, единицей ускорения — $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Производной является и единица силы 1 Н. Почему же она не входит в число семи основных единиц СИ? Ответить на этот вопрос можно, если вспомнить формулу для измерения силы:

$$1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}.$$

Иначе говоря, единица силы выражается через основные единицы СИ — кг, м и с.

В СИ установлены стандартные обозначения единиц и приставок (для обозначения кратных и дольных единиц).

Вопросы для самопроверки

1. Подумайте, по каким причинам была принята Международная система единиц?
2. Приведите примеры основных и производных единиц физических величин.
3. Подготовьте на выбор сообщение о старинных русских единицах длины, о существующих в мире единицах массы, силы.

§ 22. Сложение сил

✓ Что означает утверждение о том, что сила — величина векторная?

1. До сих пор мы рассматривали самые простые случаи, когда на тело действовала только одна сила. В реальной же ситуации в земных условиях на любое движущееся или покоящееся тело действуют чаще всего несколько сил.

На рисунке 61, а показано тело, на которое действуют три силы: $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$, $\vec{F}_3$. Каждая из сил сообщает телу ускорение $\vec{a}_1$, $\vec{a}_2$, $\vec{a}_3$, совпадающее по направлению с соответствующей силой. Однако, как показывают опыты, ускорение $\vec{a}$, с которым в результате движется тело, будет таким, какое сообщила бы ему одна единственная сила $\vec{F}$ (рис. 61, б).

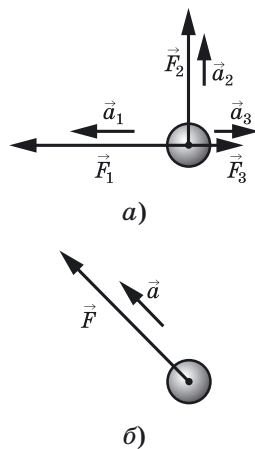


Рис. 61

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

Чтобы найти равнодействующую силу, необходимо найти геометрическую сумму всех сил, действующих на тело.

2. Каким же образом определить модуль силы $\vec{F}$ и её направление?

Самый простой случай — действие нескольких сил вдоль одной прямой. Сначала рассмотрим случай, когда к телу приложены две силы, направленные в одну сторону. Для этого проделаем опыт. Прикрепим к динамометрам D_1 и D_2 ещё один динамометр D_3 так, как показано на рисунке 62. Приведём систему в движение, потянув её за нить. Показания всех трёх динамомет-

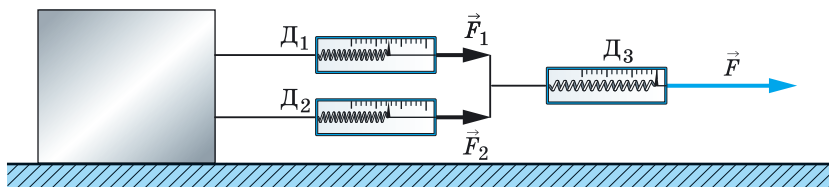
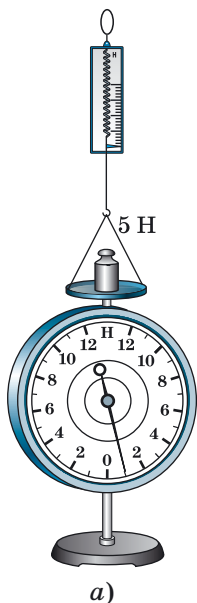


Рис. 62



ров позволяют нам убедиться в том, что модуль равнодействующей двух сил $\vec{F}$ в этом случае равен сумме модулей сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$:

$$F = F_1 + F_2.$$

Если изменить опыт и увеличить число сил, действующих на тело в одном направлении, то динамометр D_3 покажет, что модуль равнодействующей сил $\vec{F}$ равен сумме модулей всех действующих сил:

$$F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

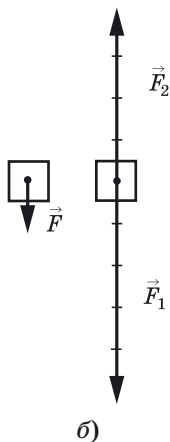
Модуль равнодействующей сил равен сумме модулей всех действующих сил, если они направлены вдоль одной прямой в одну сторону. Направление равнодействующей сил в этом случае совпадает с направлением действующих сил.

3. Прделаем опыт и выясним, как найти геометрическую сумму сил в том случае, когда силы направлены вдоль одной прямой, но в противоположные стороны.

На столик динамометра с круглым циферблатом поставим гирию, которая будет действовать на него с силой $F_1 = 5$ Н (рис. 63, а). Одновременно будем поднимать этот же столик с силой $F_2 = 4$ Н. Сила $\vec{F}_1$ направлена вниз, а сила $\vec{F}_2$ — вверх. Динамометр покажет силу $F = 1$ Н. Эта сила и есть равнодействующая сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$.

Схематически результаты опыта изображены на рисунке 63, б.

Рис. 63



В случае действия двух сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ (см. рис. 63, а), направленных в противоположные

стороны, модуль равнодействующей сил $\vec{F}$ равен разности модулей этих сил:

$$F = F_1 - F_2.$$

Направлена равнодействующая сил в сторону большей силы.

Модуль равнодействующей сил равен разности модулей действующих сил, если они направлены вдоль одной прямой в противоположные стороны. Направлена равнодействующая сил в этом случае в сторону большей по модулю силы.

Вопросы для самопроверки

1. Какую силу называют равнодействующей?
2. Как найти равнодействующую двух сил, действующих вдоль одной прямой в одном направлении; в противоположных направлениях?

Задание 15

1. Чему равна равнодействующая сил $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, действующих на тележку (рис. 64)? Что вы можете сказать о движении тележки?

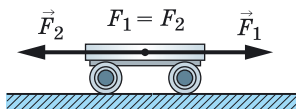


Рис. 64

2. На тело действуют три силы, направленные вдоль одной прямой: $F_1 = 100$ Н, $F_2 = 150$ Н, $F_3 = 250$ Н. Найдите их равнодействующую. Рассмотрите все возможные случаи и сделайте поясняющие рисунки к ним.

§ 23. Сила упругости

✓ Какую деформацию называют упругой?

1. В механике, основные положения и законы которой вы изучаете, рассматриваются движения тел под действием сил. Но силы по своей природе бывают разные.

Об одной из них уже шла речь, когда рассматривался принцип действия динамометра. Действительно, в результате деформации тела возникает сила, стремящаяся вернуть его в исходное положение. Эту силу называют **силой упругости** ($\vec{F}_{\text{упр}}$).

2. Возьмите в руку тонкую пластмассовую линейку, зажмите один конец, а второй изогните (рис. 65). Вы почувствуете-

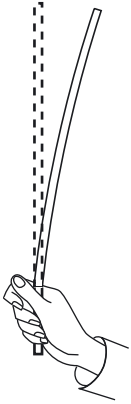


Рис. 65

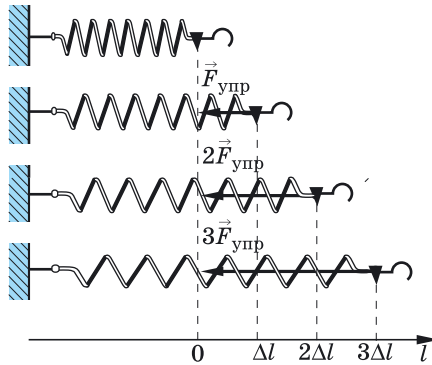


Рис. 66

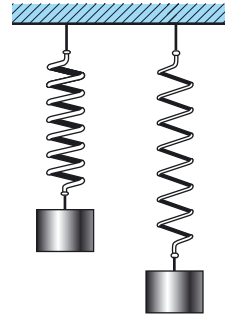


Рис. 67

те, что линейка противодействует деформации, и чем сильнее вы её изгибаете, тем труднее это оказывается сделать (не сломайте!). Как только вы отпустите линейку, она сразу же стремительно вернётся в исходное положение. Происходит это из-за возникшей в результате деформации силы упругости.

Сила упругости возникает во всех случаях, когда тело деформируется.

Проделаем теперь более сложный опыт. Подвергнем деформации пружину динамометра (рис. 66) — растянем её на величину Δl (Δl — удлинение тела или изменение его длины), приложив некоторую силу. На пружину в этот момент будет действовать сила упругости $F_{\text{упр}}$. Увеличим деформацию в 2 раза (растянем пружину на величину $2\Delta l$), и сила упругости тоже увеличится в 2 раза, станет равной $2F_{\text{упр}}$. Продолжая опыт, убедимся, что во всех случаях сила упругости будет прямо пропорциональна деформации (удлинению) тела. Математически это записывается так:

$$F_{\text{упр}} \sim \Delta l.$$

3. Однако пружины бывают разные. Одну легко растянуть, а другая едва поддаётся деформации (рис. 67). Поэтому, чтобы зависимость между силой упругости и удлинением пружины представить в виде закона (т. е. записать зависимость в виде равенства), необходимо учитывать упругие свойства каждой пружины. Это свойство характеризуется коэффициентом k ,

называемым **жёсткостью**. Жёсткость пружины (как и любого деформированного тела) зависит от её формы, размеров и материала, из которого она изготовлена.

Следовательно, можно записать:

$$F_{\text{упр}} = -k\Delta l.$$

Знак «минус» указывает на то, что сила упругости направлена в сторону, противоположную смещению частиц тела при деформации.

Это уравнение выражает **закон Гука**:

сила упругости, возникающая при деформации тела, прямо пропорциональна удлинению тела.

Английский учёный *Роберт Гук* (1635—1703) экспериментально исследовал свойства упругих тел и первым сформулировал этот закон.

4. Закон, установленный Гуком, справедлив только для малых упругих деформаций. В § 20 мы уже говорили об упругой деформации как деформации особого рода. Если мы вдруг «перерастянем» пружину в нашем опыте, то она в какой-то момент перестанет сжиматься. (Вспомните предупреждение: не ломайте пластмассовую линейку!) То же самое может произойти и с металлической линейкой, но она не сломается, а в какое-то мгновение резко согнётся и уже не распрямится. Иначе говоря, у любого упругого тела существует определённый предел для упругой деформации.

5. Особенность силы упругости заключается в том, что она всегда направлена в сторону, противоположную деформации. Прodelайте самостоятельно опыт, и вы убедитесь в том, что сжатая пружина всегда под действием силы упругости распрямляется, растянутая же — стремится вновь сжаться.

Вопросы для самопроверки

1. Какую силу называют силой упругости?
2. Приведите примеры упругих деформаций.
3. Сформулируйте закон Гука.

4. Что характеризует жёсткость? От чего она зависит?
5. Что вы можете сказать о направлении силы упругости?
6. Всегда ли выполняется закон Гука? Ответ поясните.

Задание 16

1. Укажите направление силы упругости, действующей на мяч в момент его удара о пол. Сделайте рисунок.
2. Проанализируйте формулу закона Гука и определите единицу жёсткости k .
3. Найдите жёсткость пружины, которая под действием силы 5 Н удлинилась на 8 см.
4. На рисунке 68 представлен график зависимости длины резинового жгута от приложенной к нему силы. Определите жёсткость жгута.

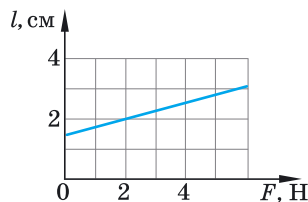


Рис. 68

§ 24. Сила тяжести

✓ Приведите примеры явлений, свидетельствующих о притяжении тел к Земле.

1. Посмотрите, как ведёт себя мяч, который вы держите на ладони (рис. 69, а). Мяч находится в покое, и вы ощущаете с его стороны некоторую тяжесть. Но если мяч отпустить, он упадёт на землю (рис. 69, б). И как бы вы ни пробовали бросать этот мяч — вертикально вверх (рис. 69, в), горизонтально (рис. 69, г) или под углом к горизонту, — он всё равно будет падать на землю.

Причиной падения мяча является действие на него силы со стороны Земли. Земля притягивает к себе все тела: людей, автомобили, дома, воду морей и океанов, Луну и т. д.

Силу, с которой Земля притягивает к себе тела, называют силой тяжести ($\vec{F}_{\text{тяж}}$).

2. В том, что сила тяжести зависит от массы тела, легко убедиться: возьмите в одну руку теннисный мяч, а в другую — камень или металлический шар примерно такого же объёма. Вы сразу же заметите, что камень или металлический шар гораздо

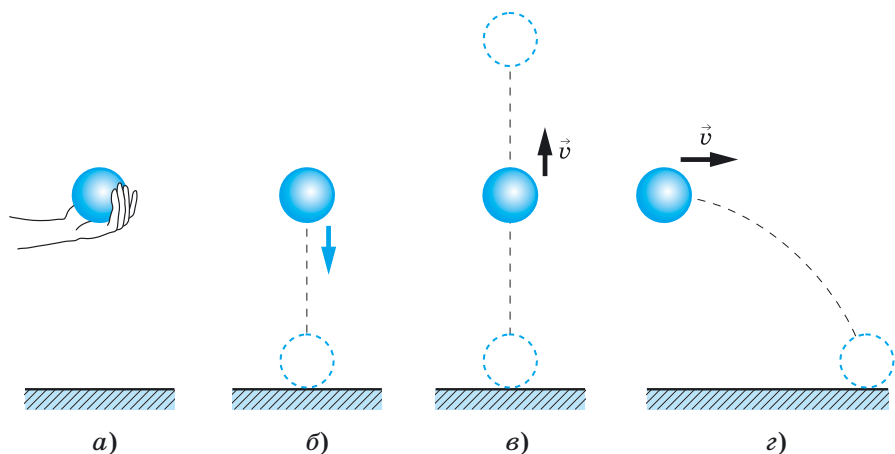


Рис. 69

тяжелее теннисного мяча, т. е. сила тяжести, действующая на тело большей массы, больше. Можно выпустить из рук поочерёдно мяч и камень (или шар), и, поставив ногу, чтобы они попали на неё (только лучше обуйтесь в кроссовки!), вы убедитесь в сделанном выводе. Многочисленными опытами установлено, что сила тяжести прямо пропорциональна массе тела: если массу тела увеличить в 2 раза, то и сила тяжести увеличится в 2 раза. Итак,

$$F_{\text{тяж}} \sim m.$$

Но, чтобы записать это соотношение в виде равенства и, следовательно, определить силу тяжести, надо ввести коэффициент.

Такой коэффициент действительно существует; его обозначают буквой g . Тогда формулу для нахождения силы тяжести можно записать в виде

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

3. Каков же физический смысл коэффициента g ? Чтобы ответить на этот вопрос, запишем формулу силы, действующей на тело:

$$F = ma.$$

Сопоставив эти две формулы, мы видим, что коэффициент g — это ускорение. Это действительно так. Достаточно вспомнить,

что все тела, если их ничто не удерживает, падают на Землю. Такое падение является равноускоренным движением (начальная скорость мяча, который выпустили из рук, равна нулю, а затем она начинает увеличиваться) и называется *свободным падением*. Причём в данном месте Земли все тела падают с одинаковым ускорением, которое называют **ускорением свободного падения**.

Ускорение свободного падения, как и любая физическая величина, может быть измерено. Единица ускорения свободного падения та же, что и единица ускорения, — $\frac{м}{с^2}$.

4. Сила тяжести и ускорение свободного падения — *векторные величины*. Они направлены всегда к центру Земли.

Ускорение свободного падения для всех тел на средних географических широтах, где мы живём, равно $9,8 \frac{м}{с^2}$, точнее, $9,81 \frac{м}{с^2}$. Однако, у полюсов значения g и $F_{тяж}$ несколько больше, чем на средних широтах или, скажем, на экваторе. Так, в результате точных измерений определено, что ускорение свободного падения на полюсе $g_{п} = 9,832 \frac{м}{с^2}$, на экваторе $g_{э} = 9,78 \frac{м}{с^2}$, а на широте 45° $g = 9,806 \frac{м}{с^2}$. При решении задач, если нет специальных указаний, будем принимать $g = 10 \frac{м}{с^2}$.

5. Изменяются значения ускорения свободного падения g и силы тяжести $F_{тяж}$ и при подъёме высоко в горы. Можно предложить аэронавту провести эксперимент: измерить с помощью динамометра силу тяжести, действующую на какое-либо тело, например на гирию массой 1 кг, в процессе его равномерного подъёма на воздушном шаре. Окажется, что сила тяжести будет постепенно уменьшаться, поскольку уменьшается и взаимодействие гири с Землёй.

Было установлено, что сила тяжести, а следовательно, и ускорение свободного падения различны на разных небесных телах. Так, на поверхности Луны $g_{л} = 1,632 \frac{м}{с^2}$, на Марсе $g_{м} = 3,86 \frac{м}{с^2}$, на Венере $g_{в} = 8,69 \frac{м}{с^2}$ и т. д. Советские автоматические станции, совершавшие посадку на Луну, подтвердили полученное ранее теоретическим путём значение ускорения свободного падения на Луне.

Вопросы для самопроверки

1. Какую силу называют силой тяжести?
2. Что является причиной возникновения силы тяжести?
3. Объясните физический смысл понятия «ускорение свободного падения».
4. По какой формуле можно вычислить силу тяжести?
5. Какая величина — масса или сила тяжести — изменяется в зависимости от географической широты места?

Задание 17

1. Можно ли сравнивать массы двух тел, измеряя их с помощью динамометра? Какое соотношение при этом используется?
2. Какая сила тяжести действует на гирию массой 500 г, находящуюся: а) на полюсе Земли; б) на экваторе; в) на широте 45° ?
3. В чём сходство понятий «ускорение» и «ускорение свободного падения» и чем они различаются?

§ 25. Закон всемирного тяготения

✓ Какие явления, происходящие на Земле, обусловлены взаимным притяжением Земли и Луны?

1. Взаимное притяжение существует не только между Землёй и находящимися на ней телами. Притягиваются друг к другу все тела — и на Земле, и в космическом пространстве.

Земля притягивает Луну, а Солнце — Землю; Солнце притягивает и все остальные планеты Солнечной системы. Именно благодаря притяжению все планеты вращаются вокруг Солнца почти по круговым орбитам, а не движутся прямолинейно и равномерно, согласно закону инерции.

Английский учёный **Исаак Ньютон** (1643—1727) был первым, кто сначала высказал гипотезу, а потом строго математически доказал, что причина падения тел на Землю, движения Луны вокруг Земли и планет Солнечной системы вокруг Солнца одна и та же. Это **сила всемирного тяготения**. Она действует между всеми телами Вселенной: и планетами, и звёздами, и мельчайшими частицами — молекулами, атомами, элементарными частицами.

2. Закон всемирного тяготения, открытый Ньютоном в 1666 г., 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 тел, r — расстояние между ними (точнее, между их центрами), G — коэффициент, называемый **гравитационной постоянной** (латинское слово *gravitas* означает «тяжесть», «тяготение»).

Силы, с которыми тела притягиваются друг к другу, направлены по прямой, соединяющей эти тела.

Закон всемирного тяготения справедлив для тел, размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними. Подобные ограничения (границы применимости) действия закона типичны для всех законов науки. Явления природы гораздо сложнее и многообразнее, чем могут их отобразить законы. В некоторых случаях, если тела имеют форму однородных шаров, можно воспользоваться законом всемирного тяготения и тогда, когда размеры тел сравнимы с расстоянием между ними.

3*. В чём же физический смысл гравитационной постоянной и можно ли экспериментально получить её значение?

Допустим, что на расстоянии 1 м находятся два тела массой по 1 кг каждое (размеры тел намного меньше r , т. е. 1 м). Тогда можем записать:

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

Иначе говоря, *гравитационная постоянная численно равна силе притяжения между телами массой 1 кг каждое, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга.* Гравитационная постоянная выражается в $\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$.

4. В истории физики известно несколько опытов по определению значения гравитационной постоянной. Первые такой опыт осуществил в 1798 г. английский физик **Генри Кавендиш** (1731—1810). Опыт был прост по идее и очень сложен по постановке.

Два одинаковых небольших свинцовых шара диаметром примерно 5 см были укреплены на двухметровом стержне, подвешенном на тонкой проволоке (рис. 70). Рядом с этими шарами были установлены большие свинцовые шары диаметром по 20 см. Благодаря взаимодействию шаров стержень поворачивался, что подтверждало существование гравитационных сил (т. е. сил всемирного тяготения). Кроме того, по углу поворота стержня можно было вычислить действующую силу. Таким образом, по известным значениям m_1 , m_2 , r и F было определено значение гравитационной постоянной G . Согласно современным данным,

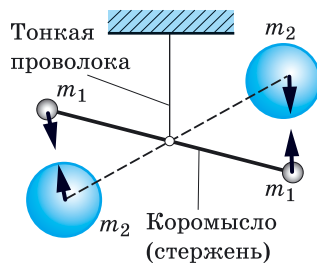


Рис. 70

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}.$$

5. Пример решения задачи

Радиус Земли равен 6370 км. Определите её массу.

Дано:

$$r = 6370 \text{ км}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

M — ?

СИ

$$6,37 \cdot 10^6 \text{ м}$$

Решение:

Любое тело массой m притягивается к Земле с силой, равной силе тяжести:

$$F_{\text{тяж}} = mg.$$

Будем полагать, что масса Земли сосредоточена в её центре и примем за расстояние между телом и Землёй её средний радиус. Тогда эта же сила тяжести, обусловленная взаимодействием между телом и Землёй, согласно закону всемирного тяготения, может быть записана как

$$F = G \frac{mM}{r^2}.$$

Следовательно,

$$F_{\text{тяж}} = F, \quad mg = G \frac{mM}{r^2},$$

откуда

$$M = \frac{gr^2}{G}.$$

$$M = \frac{9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot (6,37 \cdot 10^6 \text{ м})^2}{6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}} = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}.$$

Ответ: $M = 5,98 \cdot 10^{24} \text{ кг}$.

Вопросы для самопроверки

1. Сформулируйте закон всемирного тяготения.
2. Между какими телами действует сила всемирного тяготения?
- 3*. Каков физический смысл гравитационной постоянной?
4. В каких случаях можно применять закон всемирного тяготения?

Задание 18

1. Замечаете ли вы притяжение, существующее между окружающими вас телами? Почему?
2. Почему космический корабль не летит прямолинейно по инерции?
3. Назовите явление природы, для объяснения которого необходимо знать силу притяжения между Землёй и Луной.
4. Расстояние между Землёй и Луной равно $3,8 \cdot 10^5 \text{ км}$, их массы равны $6 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ и $7,2 \cdot 10^{22} \text{ кг}$ соответственно. Чему равна сила тяготения между Землёй и Луной?
- 5*. Вычислите, на каком расстоянии от поверхности Земли сила притяжения космического корабля к ней станет в 100 раз меньше, чем на поверхности Земли.
- 6*. Что общего между взаимодействием частиц тела (молекул, атомов) и взаимодействием космических тел (например, Земли и Луны)? Чем эти взаимодействия различаются?

§ 26. Вес тела. Невесомость

✓ Какую силу называют силой упругости; силой тяжести?

1. Существует ещё одна сила, с которой вы часто встречаетесь в повседневной жизни. Это вес тела.

Что же означает понятие «вес тела» в физике?

Вернёмся к примерам, которые мы уже раньше рассматривали. Благодаря взаимодействию с Землёй на каждое тело действует сила тяжести $F_{\text{тяж}}$. Если поставить груз на линейку, то под действием силы тяжести он будет некоторое время двигаться вниз, прогибая линейку (рис. 71, а). Груз, установленный на пружине (рис. 71, б) или подвешенный к ней (рис. 71, в), смещаясь вниз, будет сжимать или растягивать пружину. Во всех этих случаях происходит деформация опоры или пружины.

Силу, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или растягивает подвес, называют весом тела.

Вес тела принято обозначать буквой P .

2. Никогда не путайте вес тела и силу тяжести! Это совсем разные силы. Сила тяжести возникает из-за взаимодействия тела с Землёй и приложена к самому телу. Вес же характеризует взаимодействие тела с опорой или подвесом. Приложен вес тела $\vec{P}$ именно к опоре или подвесу (обратите внимание на рис. 71). Запомните: *сила тяжести всегда действует на тело, а вес — на опору или подвес.*

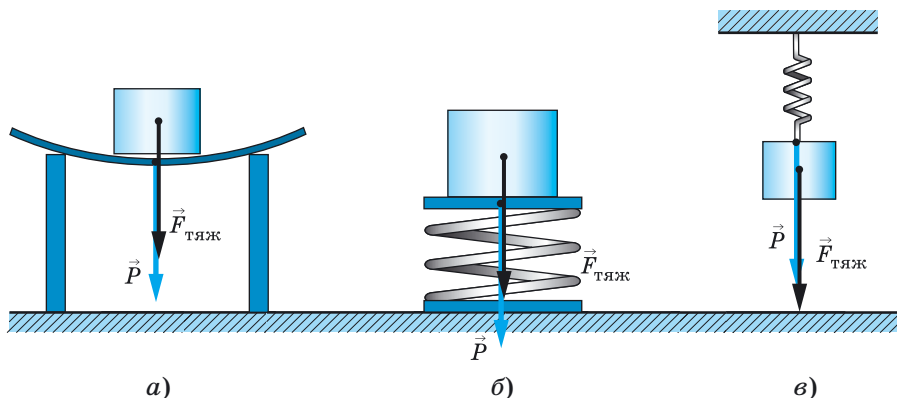


Рис. 71

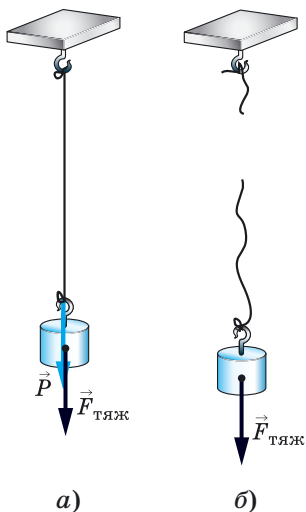


Рис. 72

3. Вы, наверное, уже не раз слышали о «невесомости» (вдумайтесь в это слово: невесомость — нет веса). **Невесомость** — это состояние, когда у тела отсутствует вес. В вашем представлении невесомость, вероятно, связана с полётами космонавтов в космических кораблях. На самом деле, если вам приходилось когда-нибудь прыгать с трамплина или какой-либо возвышенности, то в момент полёта вы тоже находились в состоянии невесомости. Тогда вы не давили ни на какую опору и никакая пружина или нить вами не растягивалась, т. е. никакого веса не было. А сила тяжести продолжала на вас действовать: благодаря ей вы падали вниз.

Обратимся к опыту. Возьмём небольшое тело (грузик) и подвесим его на нити (рис. 72, а). Другой конец нити прикрепим к опоре. Благодаря действию груза нить натянется, следовательно, на неё действует вес тела. Затем пережжём нить и проследим за падением тела. Натяжение нити исчезло (рис. 72, б). Можно заснять этот опыт на видеоплётку и затем в замедленном режиме её просмотреть. Следовательно, падающее тело не действует на падающую вместе с ним нить. В этом случае вес тела равен нулю. Но сила тяжести по-прежнему действует на тело, заставляя его падать вниз.

4. Вес тела не имеет постоянного значения. Он может меняться в зависимости от условий, в которых находится тело. Вспомните свои ощущения, когда вы едете в лифте, особенно скоростном. Когда лифт трогается, поднимаясь вверх, вам кажется, что вас прижимает к полу. Когда же лифт начинает резко опускаться, вы как бы парите какое-то мгновение. Можно проделать опыт: попав в скоростной лифт, встать не на пол, а на напольные весы, проградуированные в ньютонах. Весы покажут, что ваш вес — сила, с которой вы на них давите, — будет меняться. В начальный момент, когда лифт трогается вверх, ваш вес увеличивается. Когда же лифт начнёт опускаться, весы покажут меньшее значение.

В том случае, когда тело находится на неподвижной или движущейся равномерно и прямолинейно горизонтальной опоре, вес тела равен силе тяжести, действующей на тело.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют весом тела?
2. В чём различие между понятиями «сила тяжести» и «вес тела»?
3. Может ли сила тяжести быть равной весу тела? Если может, то в каких случаях?
4. Как вы можете объяснить тот факт, что вес одного и того же тела не имеет постоянного значения?
5. Объясните, что такое невесомость. Приведите примеры.

Задание 19

1. Если в 2 раза уменьшить массу воды в стакане, изменится ли её вес? Если изменится, то как?
2. Каков вес 10 л нефти? Можно ли точно ответить на этот вопрос? Ответ поясните.
3. С какой силой растягивается пружина, к которой подвешен медный брусок? Размер бруска $5 \times 10 \times 8$ см. Уточните условия, при которых ваш ответ будет верным.

Лабораторная работа № 7

Градуировка динамометра и измерение сил

Цель работы:

научиться градуировать пружину динамометра и измерять силы.

Приборы и материалы:

набор грузов, два динамометра, шкала одного из которых закрыта бумагой, штатив с муфтой, лапкой и кольцом, три разных цилиндра из набора тел по калориметрии, линейка.

Порядок выполнения работы

1. Зажмите динамометр с закрытой шкалой в лапке штатива вертикально и отметьте на бумаге нулевое положение указателя (поставьте цифру 0).
2. Рассчитайте силу тяжести, действующую на один груз массой 100 г, принимая ускорение свободного падения равным $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Подвесьте груз к крючку динамометра. При этом пружина динамометра растянется. Сила упругости, возникающая в пружине при её растяжении, уравнивается силой тяжести, действующей

щей на груз. Отметьте новое положение указателя на бумаге и поставьте цифру 1.

3. Подвешивая к динамометру два груза, три и т. д., отмечайте положения указателя. Поставьте соответственно цифры 2, 3 и т. д.

4. Снимите динамометр со штатива и проверьте, одинаковы ли расстояния между зафиксированными вами цифрами. Если вы оказались не точны, повторите градуировку.

5. Поставьте букву Н над цифрами шкалы, обозначив единицы силы. Ваш динамометр готов.

6. Какова цена деления шкалы полученного динамометра? Поставьте в середине между цифрами промежуточное деление, и цена деления уменьшится вдвое. Определите новую цену деления.

7. Сравните проградуированный вами динамометр с готовым динамометром с открытой шкалой. Определите его цену деления.

8. Измерьте вес трёх цилиндров, изготовленных из разных веществ, сначала с помощью проградуированного вами динамометра, затем с помощью динамометра, изготовленного в фабричных условиях. Результаты с учётом абсолютной погрешности измерения запишите в таблицу 12.

Таблица 12

<i>№ опыта</i>	<i>Вес цилиндра, определённый с помощью проградуированного динамометра, Н</i>	<i>Вес цилиндра, определённый с помощью готового динамометра, Н</i>
1		
2		
3		

§ 27. Давление

✓ От чего зависит результат действия силы?

1. Как вы думаете, всегда ли действие одной и той же силы на одно и то же тело приводит к одинаковому результату?

Чтобы получить ответ на этот вопрос, сделаем опыт. Возьмём тяжёлый металлический брусок и положим его на мокрый

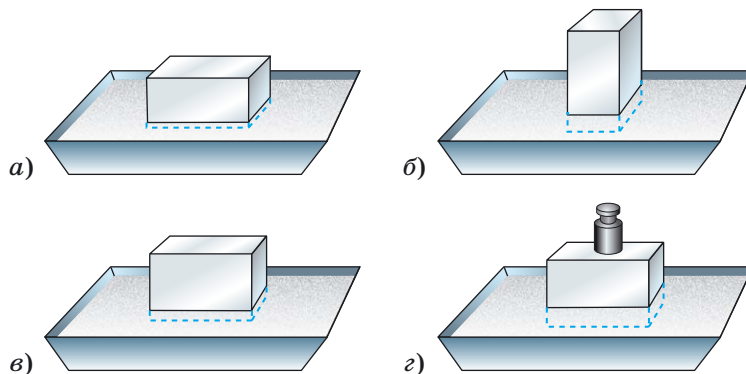


Рис. 73

песок, насыпанный в поддон, так, как это показано на рисунке 73, а. Под действием веса бруска песок промнётся и на нём возникнет след. Теперь повторим опыт, но поставим брусок вертикально. Результат действия силы на песок будет уже иным: глубина следа значительно увеличится (рис. 73, б). Нетрудно догадаться, что если положить брусок на третью грань, то глубина следа будет отличаться и от первого, и от второго (рис. 73, в).

Таким образом, одна и та же сила (в данном случае вес бруска) оказывает разное действие. Глубина следа, т. е. результат оказанного воздействия, зависит от площади поверхности той грани бруска, на которую его ставят. Чем меньше площадь грани бруска, тем больше глубина его следа.

Является ли вывод из данного опыта случайным или подобная зависимость действительно существует?

Два мальчика одинаковой массы идут по рыхлому снегу, но один на лыжах, а другой — в обычной обуви (рис. 74). Этот пример известен, по-видимому, всем. На лыжах или без лыж мальчики действуют на снег с одной и той же си-



Рис. 74

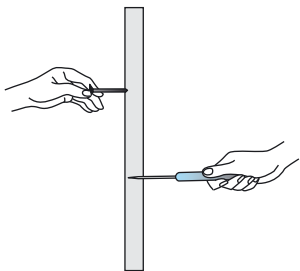


Рис. 75

лой, но действие этой силы различно. Без лыж ходить по снегу очень трудно, потому что площадь подошвы меньше (примерно в 20 раз!) площади лыжи. Следовательно, вывод, к которому мы пришли, такой же, как и в предыдущем примере.

2. Результат действия силы зависит от её значения. Чем больше сила, действующая на тело, тем больше должно быть и оказываемое воздействие.

Если на брусок (рис. 73, *г*) поставить какую-либо гирьку, то сила, действующая на песок, увеличится; увеличится и глубина следа от бруска. Взрослый человек провалится в снег гораздо глубже, чем маленький мальчик.

3. В рассмотренных примерах действие оказывал вес тела, который всегда направлен вниз. Не изменятся ли сделанные нами выводы, если проследить действие какой-либо другой силы?

Представьте, что вы пытаетесь проткнуть толстый картонный лист, прикладывая определённое усилие, сначала с помощью толстого гвоздя, а затем с помощью шила (рис. 75). Остриё шила без труда проткнёт картон, а гвоздь застрянет в нём. Проткнуть картонный лист вам, может быть, и удастся, но только если значительно увеличить прикладываемую силу.

Значит, результат действия силы не зависит ни от вида силы, ни от направления её действия (она во всех случаях была перпендикулярна поверхности).

Следовательно, *результат действия силы зависит от её модуля и от площади той поверхности, перпендикулярно которой она действует.*

4. Физическую величину, равную отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности, к площади этой поверхности, называют давлением.

Обозначают давление буквой *p*.

Чтобы определить давление, надо силу, действующую перпендикулярно поверхности, разделить на площадь поверхности:

$$\text{давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}.$$

Можно записать формулу для нахождения давления

$$p = \frac{F}{S},$$

где F — сила, действующая на поверхность, S — площадь поверхности.

Зная единицу силы (Н) и основную единицу площади (м^2), можно определить единицу давления: *ньютон на квадратный метр* $\left(\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}\right)$. За единицу давления принимается давление, которое производит сила 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 м^2 перпендикулярно этой поверхности.

Единица давления имеет и своё собственное название и обозначение. Она называется *паскалем (Па)* в честь французского учёного *Блеза Паскаля* (1623—1662):

$$1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2}.$$

1 Па — это очень маленькое давление. Вспомните, что 1 Н — это сила тяжести, действующая на гирьку массой 100 г. Чтобы она оказывала такое давление, её действие должно быть распределено по поверхности площадью 1 м^2 . Можно подсчитать, что, для того чтобы лыжи (вместе с вами) производили на снег давление в 1 Па, их длина должна быть примерно 6 км. Поэтому в физике и технике часто используют более крупные единицы давления: *гектопаскаль (гПа)* и *килопаскаль (кПа)*.

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}; \quad 1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}.$$

Чтобы лучше представить себе, какое давление оказывают на поверхность разные тела, обратитесь к таблице 13.

Таблица 13

Примерные значения давлений, кПа

Колёса лунохода на лунный грунт	5
Гусеничный трактор на почву	40—60
Колёса легкового автомобиля на почву	200—300
Фундамент Останкинской телевизионной башни на грунт	270
Колёса вагона на рельсы	300 000

5. Пример решения задачи

Определите давление, которое оказывает на арену цирковой слон, стоящий на одной ноге. Масса среднего слона 3,5 т, площадь подошвы 700 см².

Дано:	СИ	Решение:
$m = 3,5 \text{ т}$	3500 кг	По определению давление равно
$S = 700 \text{ см}^2$	0,07 м ²	$p = \frac{F}{S}$.
$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$		$F = P; P = mg$.
$p = ?$		$P = 3500 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 35\,000 \text{ Н};$

$$p = \frac{35\,000 \text{ Н}}{0,07 \text{ м}^2} = 500\,000 \text{ Па} = 500 \text{ кПа}.$$

Ответ: $p = 500 \text{ кПа}$.

Вопросы для самопроверки

1. Как зависит действие силы от площади опоры, на которую она действует? Приведите примеры.
2. Приведите примеры, показывающие, что действие силы зависит от её модуля.
3. Что называют давлением? Как его можно определить?
4. Подумайте, как можно увеличить или уменьшить давление?
5. Как изменится давление, которое оказывает слон, стоящий на одной ноге на арене цирка, если он встанет на четыре ноги?
6. Используя таблицу 13, покажите, что 1 Па — это маленькое давление.

Задание 20

1. Почему шины грузовых автомобилей делают значительно шире, чем легковых?
2. Одинаковое ли давление оказывают на стол три тела одинаковой массы, если они расположены так, как показано на рисунке 76?
3. Когда человек оказывает большее давление на пол — когда стоит или когда идёт?

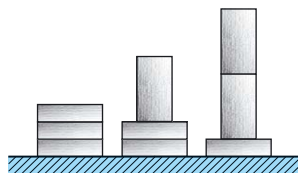


Рис. 76

4. Какое давление оказывает на пол мальчик массой 48 кг, если площадь подошвы его ботинка 160 см^2 ?
5. Определите давление на снег мальчика массой 48 кг, стоящего на лыжах. Ширина лыжи 10 см, длина 160 см. Сравните полученный ответ с ответом задачи 4.
6. Во сколько раз давление, которое вы оказываете при вдавливании кнопки в доску, больше давления гусеничного трактора на почву? Считайте усилие, производимое на кнопку, равным 50 Н, а площадь её острия $0,01 \text{ мм}^2$. Вес гусеничного трактора ДТ-75М 65 000 Н, общая площадь гусениц $1,4 \text{ м}^2$.

§ 28. Сила трения

- ✓ Приведите примеры явлений, в которых проявляется трение.
- ✓ Что является причиной трения?

1. Представьте себе движение автомобиля по шоссе с выключенным двигателем, движение санок, скатившихся с горки, или шарика — с наклонной плоскости. Эти движения не будут продолжаться долго. Скорость тел постепенно уменьшится, и они остановятся.

Как вы знаете, если скорость движения изменяется, значит, на тело действует какая-то сила. В данных примерах к телам приложена сила, препятствующая их движению, тормозящая их.

Силу, возникающую при движении одного тела по поверхности другого и направленную против движения тела, называют силой трения ($\vec{F}_{\text{тр}}$).

Одной из основных причин возникновения силы трения являются шероховатости поверхностей соприкасающихся тел. Вспомните, как движется шайба или мяч по поверхности льда, и сравните с их же движением по земле или асфальту. Очевидно, что по достаточно гладкой поверхности тело движется гораздо дольше, чем по шероховатой. Следовательно, сила трения в первом случае намного меньше, чем во втором.

2. Существуют различные виды трения. Обычно говорят о *трении скольжения*, *трении качения*, *трении покоя*.

На брусок, движущийся по поверхности стола (рис. 77, а), действует сила трения, возникающая между соприкасающимися

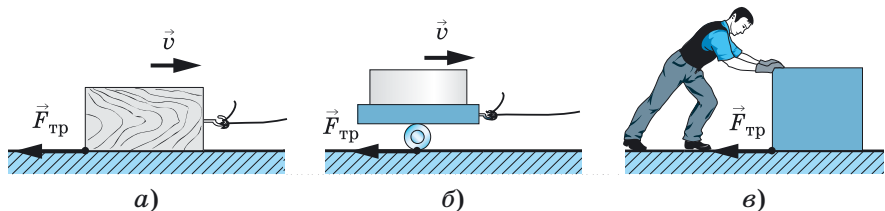


Рис. 77

ся поверхностями. Эту силу трения принято называть **силой трения скольжения**.

Если поставить брусок на тележку и привести её в движение, то трение возникнет между вращающимися колёсами тележки и поверхностью стола (рис. 77, б). Это уже будет **трение качения**. Измерив силу трения качения, можно убедиться, что при движении по твёрдой поверхности она гораздо меньше силы трения скольжения. Люди знали об этом уже тысячи лет назад. Например, для того чтобы передвинуть тяжёлые предметы, под них подкладывали брёвна (рис. 78). Пользуются подобным приёмом и сегодня.

Когда необходимо сдвинуть с места какой-то тяжёлый предмет (рис. 77, в), приходится прикладывать немалые усилия, поскольку возникающая между телом и поверхностью сила трения мешает движению. Это трение называют **трением покоя**. Сила трения покоя направлена противоположно возможному движению и равна приложенной силе. Максимальное её значение примерно равно силе трения скольжения.

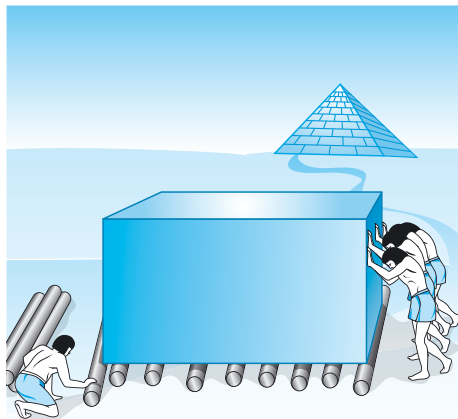


Рис. 78

3. Силу трения можно измерить. Например, чтобы измерить силу трения скольжения, действующую на деревянный брусок, движущийся по поверхности стола, прикрепим к бруску динамометр и будем перемещать его равномерно со скоростью $\vec{v}$ (рис. 79). На брусок в горизонтальном направлении будут действовать две силы —

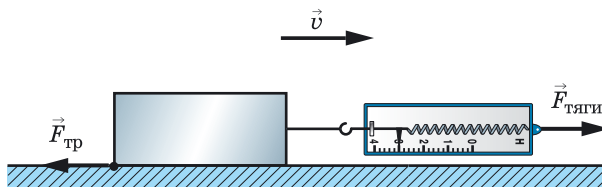


Рис. 79

сила трения скольжения и сила упругости пружины динамометра (сила тяги). Динамометр измеряет силу тяги $F_{тяги}$. Но равномерное движение возможно лишь в том случае, если равнодействующая сил равна нулю. Следовательно, эти силы равны по модулю. Поэтому показание динамометра является одновременно и значением силы трения скольжения $F_{тр}$.

4. Продолжим опыт и постараемся выяснить, от чего зависит сила трения. Будем постепенно нагружать брусок, ставя на него добавочные грузы, например гирьки. Мы убедимся, что сила трения при этом тоже будет увеличиваться. Чем больше сила, прижимающая брусок к поверхности стола, тем больше возникающая при этом сила трения скольжения. Силу, действующую перпендикулярно поверхности соприкосновения тел, называют *силой нормального давления*.

Её обозначают буквой N . В тех случаях, когда тело движется по горизонтальной поверхности, как брусок в нашем опыте, сила нормального давления равна весу бруска ($P_{бр}$). Если брусок нагружен, то сила нормального давления равна сумме веса бруска и погруженных на него гирь ($P_г$):

$$N = P_{бр} + P_г.$$

Таким образом, из опыта следует, что сила трения скольжения прямо пропорциональна силе нормального давления:

$$F_{тр} \sim N.$$

Формула для нахождения силы трения скольжения имеет вид:

$$F_{тр} = \mu N,$$

где μ — коэффициент пропорциональности, который называют **коэффициентом трения скольжения**.

5. Сила трения скольжения зависит не только от качества обработки соприкасающихся поверхностей, но и от материала, из которого они изготовлены. Один и тот же брусок, равномерно скользящий сначала по стеклянной поверхности, а затем по деревянной доске, испытывает различное трение. Как показывают опыты, возникающая в первом случае сила трения ($F_{\text{тр1}}$) будет меньше, чем во втором ($F_{\text{тр2}}$), т. е. $F_{\text{тр1}} < F_{\text{тр2}}$. Поскольку $F_{\text{тр1}} = \mu_1 N$, а $F_{\text{тр2}} = \mu_2 N$, можно сделать вывод, что в этих случаях коэффициенты трения скольжения разные:

$$\mu_1 < \mu_2.$$

Следовательно, коэффициент трения скольжения зависит от веществ, из которых изготовлены соприкасающиеся тела, и состояния их поверхностей. Некоторые значения коэффициента трения скольжения приведены в таблице 14.

Таблица 14
Примерные значения коэффициента трения скольжения

Дерево по дереву	0,33
Дерево по металлу	0,20—0,50
Дерево по льду	0,035
Сталь по льду (коньки)	0,015

6. Трение играет очень важную роль и в природе, и в технике. Оно может быть как полезным, так и вредным.

Без трения никто и ничто не могло бы двигаться по земле — ни люди, ни животные, ни машины. Вспомните, где легче идти — по льду или по шероховатому асфальту. Поэтому и посыпают в гололёд дороги и тротуары песком.

Действительно, если бы не существовало силы трения покоя, ноги пешехода скользили бы назад, колёса автомобиля или теплового прокручивались бы вхолостую и вообще весь транспорт забуксовал бы и не смог сдвинуться с места. Чтобы увеличить силу трения, поверхность колёс у автомобилей делают ребристой, а в некоторых случаях, когда дорога бывает особенно скользкой, на колёса надевают специальные цепи.

Трение может приносить и большой вред. Например, во всех механизмах из-за трения нагреваются и изнашиваются движущиеся части. Для уменьшения трения между соприкасающимися поверхностями вводят смазку или используют различные *подшипники*. При введении смазки, в большинстве случаев жидкой, трущиеся поверхности разъединяются. Трение в этом случае возникает между слоями жидкости, а оно существенно меньше, чем между твёрдыми поверхностями. Подшипники используют в машинах и станках, имеющих вращающиеся детали.

7. Рассмотрим более подробно устройство и принцип действия различных подшипников, без которых невозможно представить современный транспорт и промышленность.

Подшипники разделяют на две основные группы: *подшипники скольжения* и *подшипники качения*.

Подшипник скольжения состоит из *корпуса* (чаще всего разъёмного) и *вкладышей* (рис. 80). При сборке вал машины располагается между верхним и нижним вкладышами и подшипник закрепляется. Чтобы уменьшить силу трения между вращающимся валом и вкладышами, последние делают из очень прочного металла, обязательно отличного от металла самого вала. В процессе изготовления и вкладыши, и части соприкасающегося с ним вала тщательно шлифуют. Кроме того, во внутренней части вкладышей делаются специальные бороздки, по которым растекается смазка.

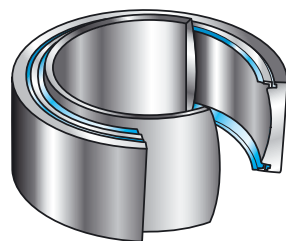


Рис. 80

Значительно надёжнее и удобнее в эксплуатации **подшипники качения**. В таких подшипниках вращающийся вал не скользит по неподвижному вкладышу, а катится по нему на стальных шариках или роликах. Как вы уже знаете, сила трения качения значительно меньше силы трения скольжения при неизменной нагрузке. В этом и заключается основное преимущество подшипников качения.

На рисунке 81 показано устройство простейших подшипников качения — *шарикового* (а) и *роликового* (б). Внутреннее коль-

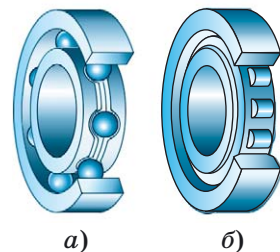


Рис. 81

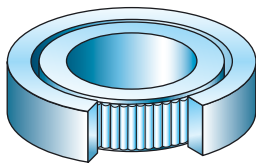


Рис. 82

цо подшипника насаживается на вал, а наружное закрепляется в корпусе машины. Между кольцами находятся шарики или ролики, по которым катится внутреннее кольцо при вращении вала.

Каждый из видов подшипников имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому инженеры и конструкторы, создавая новые механизмы, используют достоинства каждого вида подшипников. Так, в обычном автомобиле имеются подшипники качения и скольжения.

Для мощных, например авиационных, двигателей используются особые, так называемые *игольчатые* подшипники. В них между кольцами находятся обильно смазанные стальные иглы (рис. 82). Сначала такой подшипник работает как роликовый — иглы катятся по поверхности колец. С увеличением скорости вала иглы перестают вращаться и вместе с маслом образуют ещё одно кольцо, которое скользит между внутренним и внешним кольцами. Иначе говоря, игольчатый подшипник представляет собой одновременно и подшипник качения, и подшипник скольжения. В нём сочетаются достоинства подшипников обоих видов.

Вопросы для самопроверки

1. Какую силу называют силой трения?
2. Какие бывают виды трения?
3. Как можно измерить силу трения?
4. Назовите причины возникновения силы трения.
5. Какую силу называют силой нормального давления?
6. От чего зависит коэффициент трения скольжения?
7. Полезна или вредна сила трения? Приведите примеры.

Задание 21

1. Напишите небольшое сочинение на тему «Что со мной было бы, если бы отсутствовала сила трения?».
2. Какой вид трения имеет место в следующих случаях:
 - а) катание с горки на санках;
 - б) движение автомобиля;
 - в) движение груза на транспортёре;
 - г) катание на роликовых коньках;

- д) ходьба, бег;
 - е) катание на водных лыжах;
 - ж) катание на доске для виндсёрфинга?
3. Почему считается опасным ездить на автомобиле со старыми, «лысыми», шинами колёс?
4. Парашютист массой 70 кг равномерно опускается вниз. Чему равна сила сопротивления воздуха, действующая на парашют?
5. Найдите коэффициент трения скольжения между шинами колёс автомобиля, движущегося равномерно по горизонтальному участку пути, и дорогой, если масса машины с грузом 6000 кг, а двигатель развивает силу тяги 30 000 Н.
6. Как можно увеличить или уменьшить силу трения? Приведите примеры.
- 7*. Постройте график зависимости силы трения скольжения от силы нормального давления. От чего зависит угол наклона этого графика?

Лабораторная работа № 8

Измерение коэффициента трения скольжения

Цель работы:

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

Приборы и материалы:

деревянный брусок, набор грузов, динамометр, деревянная доска.

Порядок выполнения работы

1. Прикрепите динамометр к бруску и равномерно двигайте брусок по горизонтально расположенной доске (рис. 83).
2. Добейтесь равномерного движения и измерьте силу трения, действующую на брусок без груза и брусок, нагруженный одним, двумя и тремя грузами массой по 100 г каждый, учитывая, что она равна силе тяги.
3. Запишите результаты измерений в таблицу 15.

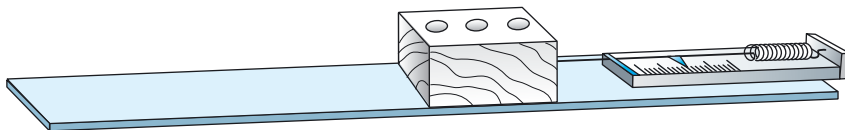


Рис. 83

4. Определите с помощью динамометра вес бруска, потом последовательно его вес с одним, двумя, тремя грузами.
5. Заполните таблицу 15, учитывая, что вес тела на горизонтальной поверхности равен силе нормального давления.
6. Сделайте вывод о том, как зависит сила трения скольжения от силы нормального давления.
7. Вычислите коэффициент трения скольжения в каждом случае, используя формулу $F_{\text{тр}} = \mu N$. Результаты вычислений запишите в таблицу 15.
8. Сделайте вывод.

Таблица 15

<i>№ опыта</i>	<i>Сила трения $F_{\text{тр}}$, Н</i>	<i>Сила нормального давления N, Н</i>	<i>Коэффициент трения скольжения μ</i>
1. Брусок без груза			
2. Брусок с одним грузом (m)			
3. Брусок с двумя грузами ($2m$)			
4. Брусок с тремя грузами ($3m$)			

9*. *Дополнительное задание.* Измерьте силу трения скольжения бруска, повернув его на грань с меньшей площадью. Последовательно нагружая брусок, повторите опыты (пункт 2) и заполните аналогичную таблицу. Сделайте вывод о зависимости силы трения скольжения от площади опоры движущегося тела.

§ 29. Механическая работа

✓ Приведите примеры различных явлений, которые характеризуются понятием «работа».

1. Словом «работа» в повседневной жизни называют всякий полезный труд — и физический, и умственный. Однако в физике понятие работы применяется только тогда, когда тело движется под действием приложенной к нему силы.

Под действием силы тяги электровоза движется состав вагонов; сила тяги электровоза совершает работу. Работа совершает-

ся, когда подъёмный кран поднимает груз, столяр стругает рубанком доску и т. д.

2. Рассмотрим, от чего зависит значение совершённой работы. Очевидно, что чем больше сила, которая приложена к движущемуся телу, тем бóльшая совершается работа. Представьте, что вам нужно передвинуть груз на некоторое расстояние. Прикладываемая вами при этом сила равна 100 Н. Затем массу груза увеличили: коробок стало две. Теперь, чтобы передвинуть их на то же расстояние, необходимо приложить силу 200 Н (рис. 84). Работа, которую вы совершите во втором случае, будет в 2 раза больше. Ведь работу по перемещению двух коробок можно рассматривать как дважды выполненную работу по перемещению одной коробки.

Зависит работа и от расстояния, на которое перемещается тело. Чем на большее расстояние вам надо перетащить груз, тем больше совершённая работа (рис. 85).

Таким образом,

механическая работа — физическая величина, прямо пропорциональная силе, действующей на тело, и пути, пройденному им в направлении действия силы.

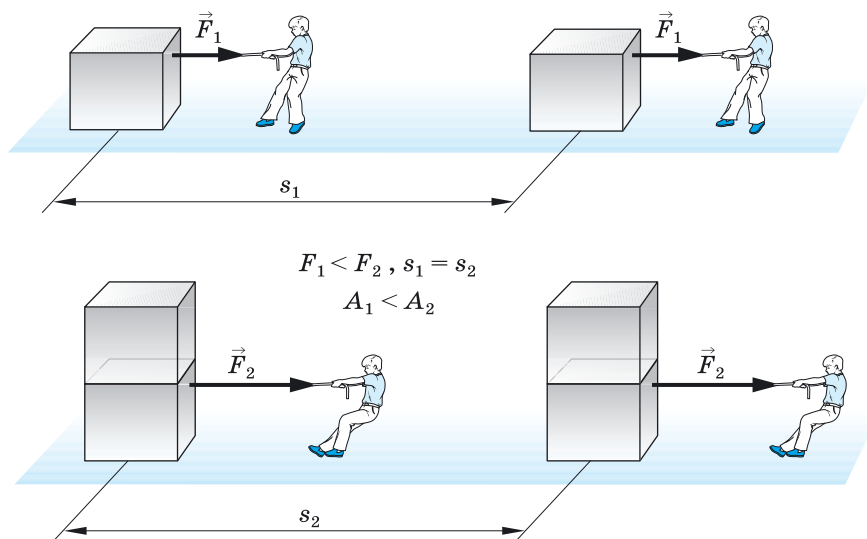


Рис. 84

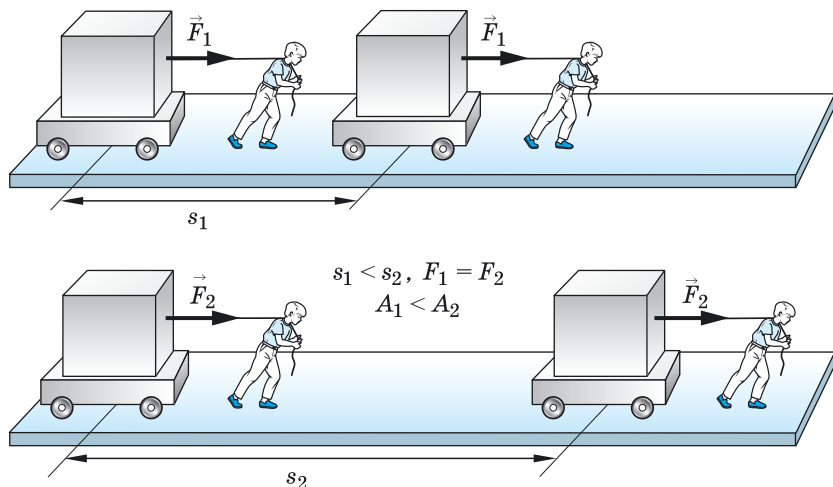


Рис. 85

Обозначают работу буквой A .

В том случае, когда направления движения тела и действующей на него силы совпадают, работа вычисляется по формуле

$$A = Fs,$$

где F — сила, s — пройденный путь.

3. Чтобы измерить работу, надо установить её единицу. Если работа совершается силой 1 Н на расстоянии 1 м, то такая работа равна 1 джоулю (1 Дж):

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

Единицу работы назвали в честь английского учёного **Джеймса Джоуля** (1818—1889).

4. Понятие работы в физике отличается от работы в повседневной жизни. Допустим, что вам надо передвинуть какой-то очень тяжёлый предмет, например комод (рис. 86, а). Вы будете пытаться сдвинуть его, толкая, упираясь во что-либо, раскачивая и т. д. И всё без толку. Устанете, «наработаетесь», но с точки зрения физики ваша работа будет равна нулю: комод остался на месте. Поскольку нет перемещения ($s = 0$), то и работа не совершается ($A = 0$).

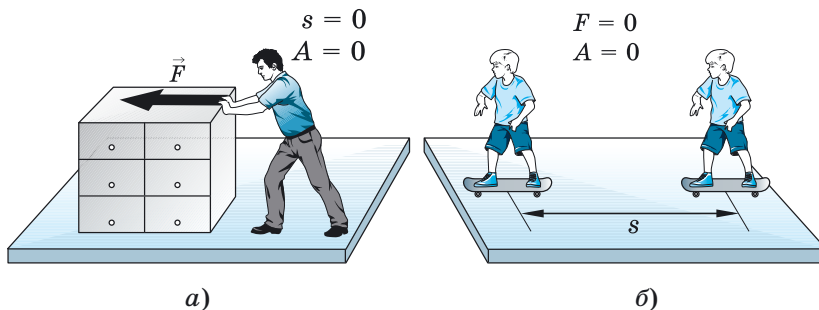


Рис. 86

Работа равна нулю и в случае движения тела по инерции. Тело перемещается на некоторое расстояние, но сила в направлении движения на него не действует ($F = 0$). Следовательно, $A = 0$ (рис. 86, б).

5. Если направления движения тела и действующей на него силы противоположны, то работа отрицательна. Примером силы, совершающей отрицательную работу, является сила трения.

6. Пример решения задачи

Мраморную плиту объёмом $0,5 \text{ м}^3$ равномерно поднимают на высоту 15 м . Вычислите совершаемую при этом работу.

Дано:

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$\rho = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$h = 15 \text{ м}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$A = ?$

Решение:

По определению механическая работа равна

$$A = Fs;$$

$s = h$, где h — высота подъёма плиты;

F — сила тяжести, действующая на плиту:

$F = mg$, где m — масса плиты:

$$m = \rho V.$$

$$m = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \text{ м}^3 = 1350 \text{ кг};$$

$$F = 1350 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 13\,230 \text{ Н};$$

$$A = 13\,230 \text{ Н} \cdot 15 \text{ м} = 198\,450 \text{ Дж} \approx 198,5 \text{ кДж}.$$

Ответ: $A = 198,5 \text{ кДж}$.

Вопросы для самопроверки

1. Каков физический смысл работы?
2. Назовите единицу работы.
3. По какой формуле можно вычислить работу?
4. В каких случаях работа равна нулю?
5. В каком случае работа отрицательна?

Задание 22

1. 1 Дж — это большая работа или нет? Чтобы ответить на этот вопрос, придумайте ситуацию, в которой вы совершите работу 1 Дж.
2. Вычислите работу, совершаемую вами при подъёме по лестнице до своей квартиры. Оцените значение величин, необходимых для выполнения задания.
3. На поршень насоса действует сила 102 кН. Чему равна работа, совершаемая за один ход поршня, если поршень переместился на 30 см?
4. Электровоз движется равномерно и проходит путь 10 км. Какую работу совершает при этом сила тяги, если масса состава 5000 т, а коэффициент трения колёс о рельсы 0,005?

§ 30. Мощность

✓ От каких физических величин зависит механическая работа?

1. Одну и ту же работу разные машины и механизмы могут совершать по-разному: одни — более быстро, эффективно, другие — менее. Так, самолёт Ту-204-300 может долететь от Москвы до Санкт-Петербурга менее чем за час, а если бы туда вылетел «небесный тихоход» Ан-2, то он одолел бы это расстояние лишь за 3—4 ч; трактор может вспахать гектар земли примерно за 40 мин, а лошади для этого понадобится не менее 10 ч.

Быстроту выполнения работы каким-либо механизмом характеризуют величиной, называемой **мощностью**.

Мощность — физическая величина, равная отношению работы, совершаемой в течение некоторого времени, к этому времени:

$$\text{мощность} = \frac{\text{работа}}{\text{время}}.$$

Мощность обозначают буквой N и вычисляют по формуле:

$$N = \frac{A}{t}.$$

2. Единицей мощности является *ватт (Вт)*. 1 Вт — это такая мощность, при которой работа 1 Дж совершается за 1 с, т. е.

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Единица мощности названа в честь изобретателя паровой машины шотландского инженера *Джеймса Уатта* (1736—1819).

1 Вт — совсем небольшая мощность. Достаточно поднять гирьку массой 100 г на высоту 1 м (это вы сможете сделать примерно за 1 с) и можно утверждать, что при этом вы развили мощность примерно 1 Вт.

3. В технике часто используют более крупные единицы мощности: *киловатт (кВт)*, *мегаватт (МВт)*.

$$\begin{aligned} 1 \text{ кВт} &= 1000 \text{ Вт}; \\ 1 \text{ МВт} &= 1\,000\,000 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

В таблице 16 приведены значения мощности некоторых двигателей.

Таблица 16

Мощности некоторых двигателей, кВт

Мопед	1,5	Поезд «Сапсан»	8800
Мотороллер	8,8	Самолёты:	
Мотоцикл «Ямаха» (максимальная)	100	Ту-95	4×8820
Автомобили:		Ту-204-300	2×7788
«Лада Калина»	66		
«Мерседес С350 272»	220		

4. Пример решения задачи

Паровой молот поднимает ударник копра массой 800 кг на высоту 0,5 м 15 раз в минуту. Определите мощность, развиваемую молотом при выполнении этой работы.

Дано:

$$m = 800 \text{ кг}$$

$$h = 0,5 \text{ м}$$

$$n = 15$$

$$t = 1 \text{ мин}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$N = ?$$

СИ

60 с

Решение:

Работа, совершаемая силой тяжести при одном падении ударника копра, равна $A_1 = Fh$, где F — сила тяжести, действующая на ударник копра: $F = mg$. Работа, совершаемая паровым молотом при подъёме копра за 1 мин, равна $A = A_1 n$.

Мощность парового молота: $N = \frac{A}{t}$.

$$F = 800 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \approx 8000 \text{ Н};$$

$$A_1 = 8000 \text{ Н} \cdot 0,5 \text{ м} = 4000 \text{ Дж};$$

$$A = 4000 \text{ Дж} \cdot 15 = 60\,000 \text{ Дж};$$

$$N = \frac{60\,000 \text{ Дж}}{60 \text{ с}} = 1000 \text{ Вт} = 1 \text{ кВт}.$$

Ответ: $N = 1 \text{ кВт}$.

Вопросы для самопроверки

1. Что характеризует мощность?
2. Что называют мощностью?
3. По какой формуле можно вычислить мощность?
4. Назовите единицу мощности.
5. Как, зная мощность и время работы двигателя, рассчитать совершённую им работу?

Задание 23

1. Можно ли утверждать, что мощность зависит от работы и промежутка времени, за который эта работа совершается? Ответ поясните.
2. Два мальчика поочерёдно поднимают из колодца ведро воды. Первый — за 20 с, второй — за 30 с. Одинаковую ли работу они совершают? Одинаковы ли их мощности?
Ответ проверьте вычислениями при условии, что масса ведра с водой 10 кг, глубина колодца 8 м.
3. Оцените мощность, которую вы (или друзья) развиваете, взбегая по лестнице. Какие данные вам нужны? Какие измерения вам придётся при этом сделать?

4. Подъёмный кран равномерно поднимает груз массой 3 т за 0,5 мин. Мощность подъёмного крана 10 кВт. Какую работу совершает кран? Чему равна высота, на которую поднимется груз?

5*. Двигатели автомобилей «Лада Калина» и «Мерседес» имеют разные мощности (см. табл. 16). Одинаковые ли максимальные скорости могут развить эти автомобили? Выведите формулу, устанавливающую связь между мощностью и скоростью равномерного движения тела.

§ 31. Простые механизмы

✓ Всегда ли необходимо прикладывать одну и ту же силу, чтобы совершить одинаковую механическую работу?

1. Для того чтобы облегчить работу по перемещению тяжёлых предметов, человек конструировал различные приспособления. Самыми первыми приспособлениями являются так называемые *простые механизмы*. Рассмотрим их работу. Для этого представим, что необходимо поднять груз на некоторую высоту H . Вам предоставляется право выбрать способ подъёма этого груза. Например, можно подняться с ним по вертикальной лестнице или вкатить камень по наклонной плоскости на ту же высоту (рис. 87). Какой способ вы предпочтёте? Безусловно, второй. Потому что вкатывать тяжёлый предмет наверх гораздо легче, чем поднимать вертикально.

Можно ли предложить ещё какие-либо способы для облегчения работы по подъёму камня? Можно. Например, если на высоте H закрепить блок, перекинуть через него верёвку и прикре-

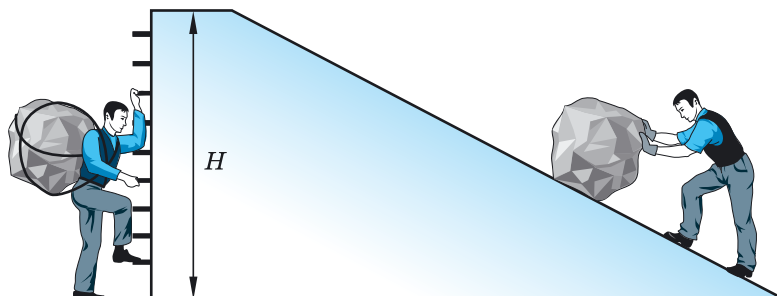


Рис. 87

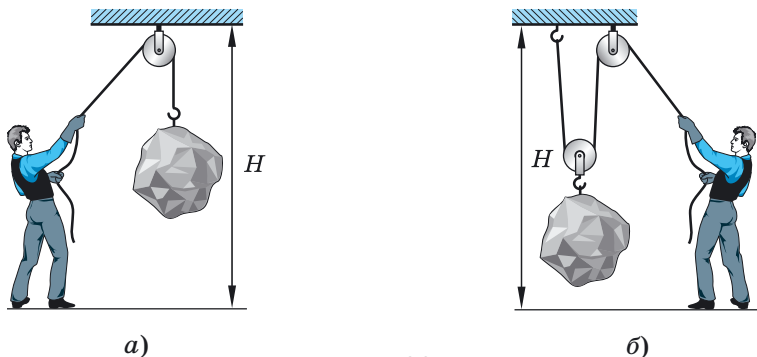


Рис. 88

пить к одному из её концов камень (рис. 88, а). Гораздо удобнее тянуть за верёвку вниз, поднимая тем самым груз, чем тащить его вверх самому. Если же использовать не один блок, а два, как показано на рисунке 88, б, то усилие, которое придётся прикладывать к верёвке, существенно уменьшится. Почему так происходит, вы скоро узнаете.

2. Итак, одну и ту же работу можно совершить разными способами. Используя разные приспособления, человек с незапамятных времён стремится облегчить работу, связанную с перемещением и подъёмом тяжёлых предметов. Ещё древние египтяне использовали *наклонную плоскость* (рис. 89), чтобы поднимать тяжёлые каменные блоки к вершине пирамиды. При строитель-

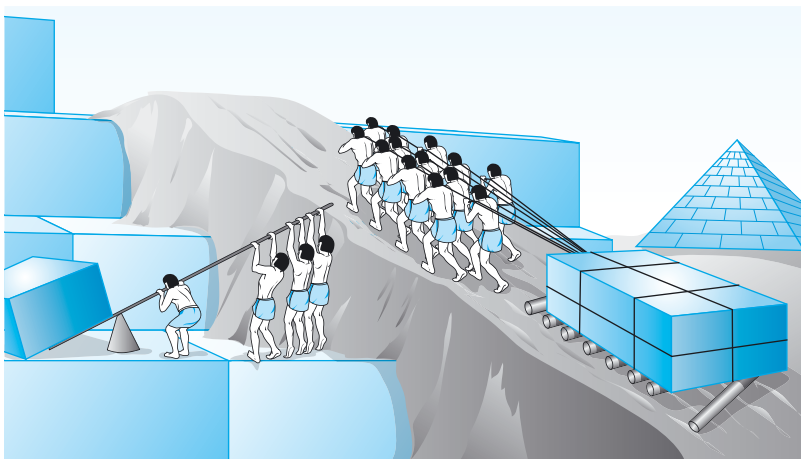


Рис. 89

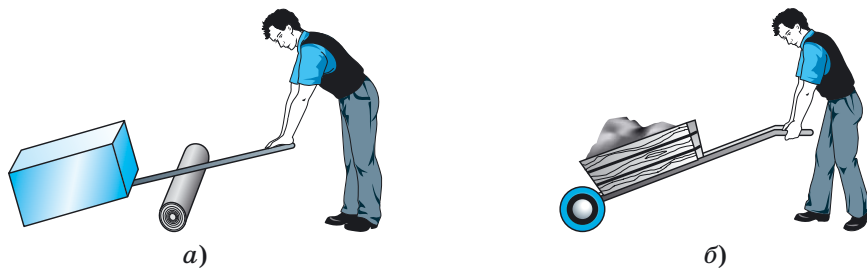


Рис. 90

стве пирамид широко применялось и другое приспособление — *рычаг* для подъёма тяжестей. Он представлял собой достаточно длинную палку, к одному из концов которой прикладывалась сила, необходимая для подъёма груза. Рычаг широко применяется и в повседневной жизни (рис. 90).

3. Во всех рассмотренных примерах используемые приспособления облегчают подъём груза. Во многих случаях они дают, как говорят, выигрыш в силе, т. е. усилие, прилагаемое человеком, оказывается меньше силы тяжести, действующей на груз, который необходимо поднять или сдвинуть. В некоторых случаях, как, например, на рисунке 88, *а*, изменится не значение силы, а только её направление. Ведь поднимать груз вертикально вверх не так удобно, чем тянуть за верёвку вниз. Часто бывает, что приспособления позволяют изменить и числовое значение, и направление силы.

Приспособления, служащие для преобразования силы, называют простыми механизмами.

К ним относятся: *наклонная плоскость, рычаг, блок, ворот, клин и винт.*

Во многих машинах и в быту, и в современном производстве используются простые механизмы.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют простыми механизмами?
2. Какие преобразования силы происходят при использовании простых механизмов?
3. Посмотрите на рисунок 91 и объясните, какой простой механизм используется при гребле веслом.

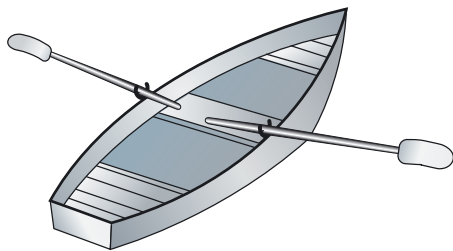


Рис. 91

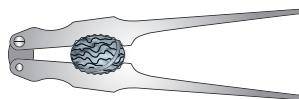


Рис. 92

4. Объясните принцип действия щипцов (рис. 92). Какие преобразования силы здесь происходят?
5. Приведите примеры механизмов, в которых происходит преобразование силы.

§ 32. Правило равновесия рычага

- ✓ Какие приспособления называют простыми механизмами?
- ✓ Каковы устройство и принцип действия рычажных весов?

1. Познакомимся более подробно с одним из наиболее распространённых простых механизмов — рычагом. Для того чтобы длинный стержень превратился в рычаг, он должен вращаться вокруг неподвижной опоры или оси.

На рисунке 93 рычагом является лом, который вращается вокруг точки O . 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 O сторонах рычага.

На рисунке 94 показано, как принцип действия рычага используется в работе тачки (см. рис. 90, б). Человек действует

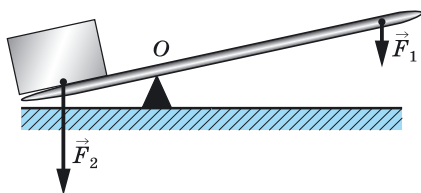


Рис. 93

с силой $\vec{F}_1$, приподнимая тачку и находящийся на ней груз. Неподвижная точка опоры рычага (точка O) в этом случае находится не между приложенными силами, а на конце рычага.

В обоих случаях использование рычага даёт выигрыш в силе. Мож-

но ли подсчитать этот выигрыш? Существует ли какая-либо закономерность, позволяющая рассчитать силу, которую надо приложить, чтобы поднять груз с помощью рычага? Можно ли определить место приложения силы, например собственного мышечного усилия, необходимой для подъёма груза?

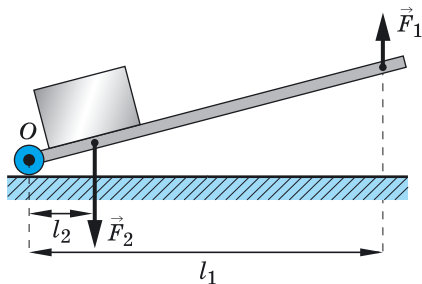
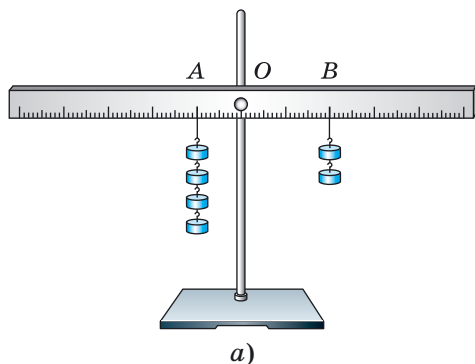


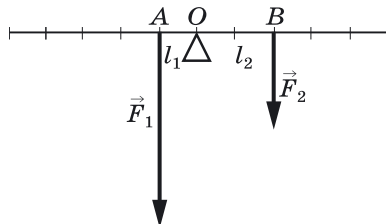
Рис. 94

2. Чтобы ответить на эти вопросы, сделаем опыт. К лёгкому рычагу, массой которого можно пренебречь и который может вращаться на стержне относительно точки O , подвесим грузы разной массы (рис. 95, а). Грузы располагаются по разные стороны от точки O и действуют на рычаг с силами $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$, направленными вниз. Рычаг и действующие на него силы схематически показаны на рисунке 95, б. Зафиксируем положение большего груза в точке A . В зависимости от места прикрепления меньшего груза рычаг может начать вращаться по ходу часовой стрелки или против её хода. И только когда этот груз окажется в точке B , рычаг будет в равновесии.

Следовательно, при заданном значении сил F_1 и F_2 соотношение расстояний от точки вращения до места приложения сил (OA и OB) будет строго определённым. Поскольку силы F_1 и F_2 равны в данном опыте силам тяжести, действующим на грузы массами 400 и 200 г соответственно (4 и 2 гири массой по 100 г каждая), то сила F_1 в 2 раза больше силы F_2 . Как показы-



а)



б)

Рис. 95

вает опыт, расстояние OB оказывается в 2 раза больше расстояния OA .

Изменим условия опыта и прикрепим в точке A груз, в 3 раза больший, чем груз на другом конце рычага. Окажется, что для приведения рычага в равновесие меньший груз придётся сдвинуть на расстояние, в 3 раза большее, чем OA .

3. Кратчайшее расстояние между точкой опоры и прямой, вдоль которой действует на рычаг сила, называют плечом силы.

Чтобы найти плечо силы, надо опустить перпендикуляр из точки опоры на линию, вдоль которой действует сила.

На рисунках 94 и 95 плечом силы $\vec{F}_1$ является расстояние l_1 (AO) — перпендикуляр из точки O на прямую, вдоль которой действует сила $\vec{F}_1$. Соответственно, плечом силы $\vec{F}_2$ является расстояние l_2 (OB).

4. На основании подобных опытов и теоретических рассуждений более двух тысяч лет назад древнегреческим учёным *Архимедом* (287—212 до н. э.) было установлено правило:

рычаг находится в равновесии, если силы, действующие на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.

Это **правило** (условие) **равновесия рычага** записывают в виде формулы:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

где F_1 и F_2 — силы, действующие на рычаг, l_1 и l_2 — плечи этих сил.

Эту формулу можно записать в виде

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

Рычаг находится в равновесии, если равны произведения сил и их плеч.

Зная правило равновесия рычага, можно объяснить, как с помощью простого механизма получить выигрыш в силе. Если к длинному концу рычага приложить небольшую силу, то мож-

но уравновесить гораздо большую силу, приложенную к короткому концу рычага.

5*. Часто на рычаг действуют с каждой стороны не одна, а несколько сил (рис. 96).

В этом случае условие равновесия рычага уже нельзя записать в виде приведённой выше пропорции. Это можно сделать, используя понятие момента силы.

Моментом силы M называют физическую величину, равную произведению силы F и её плеча l :

$$M = Fl.$$

Момент силы F_1 вращает рычаг по ходу часовой стрелки, а момент сил F_2 и F_3 — против хода часовой стрелки.

Условие равновесия рычага записывается следующим образом:

$$M_1 = M_2 + M_3.$$

Рычаг находится в равновесии, если сумма моментов сил, вращающих его по ходу часовой стрелки, равна сумме моментов сил, вращающих его против хода часовой стрелки.

6. В основе действия многих машин и механизмов, используемых в быту и технике, лежит правило равновесия рычага. Вы уже знакомы с устройством и принципом действия рычажных весов. Они именно так и называются — «рычажные весы», потому что их основной элемент — рычаг.

Рассмотрите внимательно обычные ножницы (рис. 97). Они представляют собой пару рычагов, скреплённых в точке O , относительно которой они могут вращаться. Будем считать, что рычаг CD остаётся в покое, а к концу рычага AB в точке A прикладывается сила $\vec{F}_1$ — сила пальцев человека, работающего ножницами. Сила $\vec{F}_2$, действующая со стороны рычага на листок бумаги, окажется много больше приложенной силы $\vec{F}_1$. На том же принципе основана

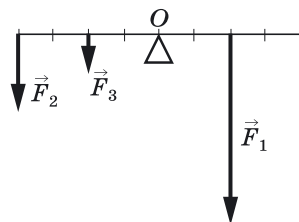


Рис. 96

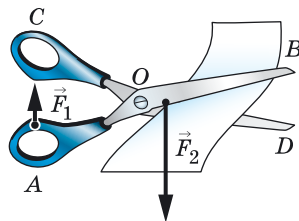


Рис. 97

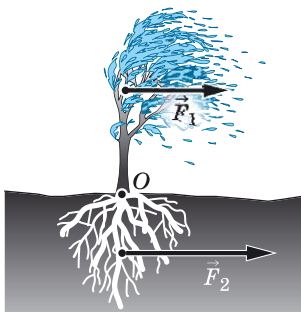


Рис. 98

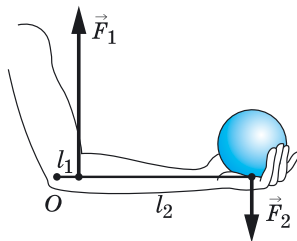


Рис. 99

работа и многих других инструментов: клещей, плоскогубцев, садового секатора и пр.

Рычаг встречается повсеместно в живой и неживой природе. Объясняя, например, причину падения деревьев во время урагана, придётся вспомнить о правиле равновесия рычага. Сила сопротивления земли ($\vec{F}_2$), действующая на корни дерева (рис. 98), может в какой-то момент оказаться недостаточной, чтобы удерживать дерево в равновесии, и оно упадёт под напором порыва ветра (сила $\vec{F}_1$).

В организме человека и животного, в теле птиц и насекомых очень много различных рычагов. Только в вашем теле более 200 различных костных рычагов. Очень интересный вывод можно сделать, рассмотрев действие рычага в локтевом суставе человека (рис. 99). В этом рычаге точка опоры (точка O) находится в суставе. Вес груза $\vec{F}_2$ приложен к концу рычага, а сила $\vec{F}_1$, необходимая для удержания груза, приложена вблизи от точки O . Сила $\vec{F}_1$ возникает благодаря сокращению мышц руки человека. В соответствии с правилом равновесия рычага сила F_1 должна быть много больше силы F_2 , так как плечо l_1 намного меньше плеча l_2 . Оказывается, сила мышц руки человека гораздо больше веса груза, который он поднимает рукой.

Вопросы для самопроверки

1. В чём состоит правило равновесия рычага?
2. Что называют плечом силы?
3. Объясните действие рычага на каком-либо примере.

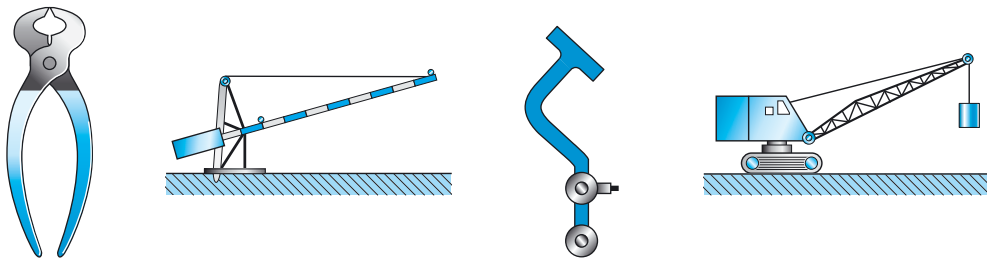


Рис. 100

4. Можно ли правило равновесия рычага назвать законом? Ответ обоснуйте.

5*. Что называют моментом силы?

Задание 24

1. Объясните, почему дверную ручку укрепляют у края двери, а, например, не в середине.

2. На рисунке 100 изображены кусачки, железнодорожный шлагбаум, тормозная педаль автомобиля и подъёмный кран. Укажите точку опоры и плечи сил у этих рычагов. В каких случаях эти механизмы используются для получения выигрыша в силе, а в каких — для выигрыша в расстоянии?

3. Груз какой массы нужно подвесить на коротком плече рычага в точке A (рис. 101), если к длинному плечу в точке B прикреплены два груза, действующие на рычаг с силой 1 Н каждый? Рычаг считать невесомым.

4. Сила, с которой рука человека сжимает клещи, равна 120 Н . Расстояние от точки опоры до сжимаемого клещами гвоздя $1,5\text{ см}$, а от точки опоры до точки приложения силы 15 см . С какой силой действуют клещи на гвоздь? Сделайте схематический рисунок.

5*. К балке, лежащей на опорах A и B (рис. 102), подвешен груз массой 500 кг . Расстояние от точки подвеса груза до одного конца балки в 4 раза больше, чем до другого. С какой силой давит груз на каждую опору балки? Массой балки пренебречь.

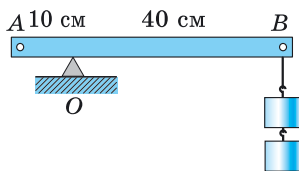


Рис. 101

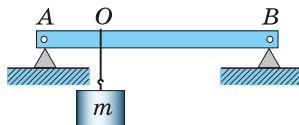


Рис. 102

Лабораторная работа № 9

Изучение условия равновесия рычага

Цель работы:

проверить на опыте правило равновесия рычага.

Приборы и материалы:

рычаг, закреплённый на штативе, набор грузов, динамометр, линейка.

Порядок выполнения работы

1. Установите рычаг в горизонтальном положении, вращая гайки на его концах (рис. 103).
2. Подвесьте два груза, массой по 100 г каждый, на левой части рычага. Расстояние от точки вращения до точки подвеса грузов выберите самостоятельно в пределах от 10 до 15 см.
3. Уравновесьте рычаг, подвесив один груз массой 100 г на его правой части. Измерьте расстояние от точки подвеса груза до точки вращения рычага.
4. Повторите опыт, подвешивая с правой стороны рычага два груза и три груза. Измерьте расстояния от точки вращения рычага до точек подвеса грузов.
5. Определите силы, действующие на рычаг в каждом случае.
6. Запишите результаты измерений и вычислений в таблицу 17.

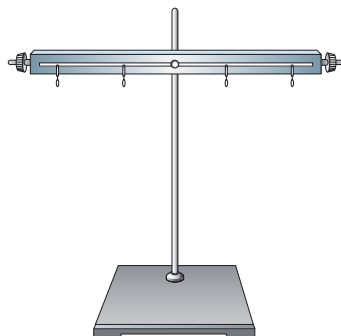


Рис. 103

Таблица 17

№ опыта	Сила F_1 , действующая на левую часть рычага, Н	Плечо l_1 , м	$F_1 l_1$, Н · м	Сила F_2 , действующая на правую часть рычага, Н	Плечо l_2 , м	$F_2 l_2$, Н · м

7. Вычислите для каждого из трёх случаев произведения сил и соответствующих плеч: $F_1 l_1$ и $F_2 l_2$.
8. Сделайте вывод.
- 9*. *Дополнительное задание.* Проверьте правило равновесия рычага для случая, когда на рычаг действуют три силы: с одной сто-

роны по отношению к точке вращения рычага две разные силы на разных расстояниях от точки опоры и одна сила с другой стороны. Используйте грузы и динамометр. Измерьте плечи сил и вычислите моменты сил, действующих на рычаг. Сделайте вывод.

§ 33. Применение правила равновесия рычага к блоку. «Золотое правило» механики

- ✓ Приведите примеры простых механизмов.
- ✓ Вспомните правило равновесия рычага.

1. Используя правило равновесия рычага, объясним действие ещё одного простого механизма — **блока**. Блок представляет собой колесо с жёлобом, которое может вращаться относительно оси O . По жёлобу пропускается трос. Если ось блока закреплена, то **блок** называют **неподвижным**, так как его ось не поднимается и не опускается (рис. 104).

Неподвижный блок можно рассматривать как рычаг с точкой опоры в середине. Значит, плечи сил P и F равны: $OA = OB$. В соответствии с правилом равновесия рычага силы, приложенные к блоку (тросу), тоже равны, т. е. $F = P$. Следовательно, такой механизм не даёт выигрыша в силе. Он применяется для удобства, поскольку удобнее выбирать трос, перекинутый через блок, прикладывая усилие, направленное вниз, чем поднимать груз вверх.

2. Чтобы получить выигрыш в силе, используют **подвижный блок**. Ось подвижного блока поднимается или опускается вместе с грузом (рис. 105).

Подвижный блок также можно представить в виде рычага, к которому приложены две силы — $\vec{P}$ и $\vec{F}$. Точкой опоры этого рычага, относительно которой он будет вращаться, является точка A . Плечи сил соответственно равны AO и AB . Так как плечо AO в 2 раза меньше плеча AB , то сила P в 2 раза больше силы F . **Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза:**

$$F = \frac{P}{2}.$$

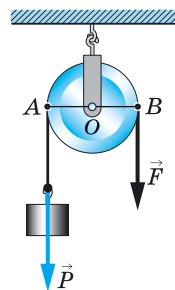


Рис. 104

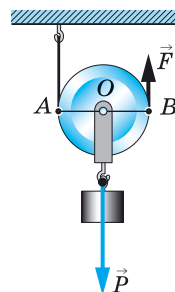


Рис. 105

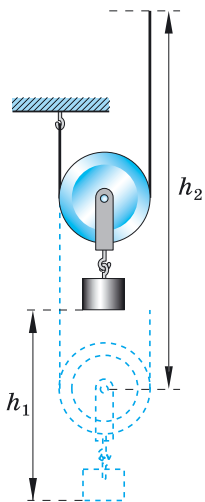


Рис. 106

3. Если измерить расстояние h_1 , на которое будет поднят груз с помощью подвижного блока в течение определённого времени, и расстояние h_2 , на которое при этом переместится конец верёвки (точка B), то можно обнаружить, что h_2 в 2 раза больше h_1 (рис. 106). Иначе говоря, *подвижный блок даёт выигрыш в силе, но проигрыш в пути.*

Работа, которая совершается силой $\vec{F}$, равна Fh_2 ; работа силы $\vec{P}$ равна соответственно Ph_1 . Но выигрыш в силе в 2 раза привёл к проигрышу в пути тоже в 2 раза. Следовательно, работа сил одинакова:

$$Ph_1 = Fh_2, A_1 = A_2.$$

4. Относится ли полученный вывод только к подвижному блоку или никакой из простых механизмов не даёт выигрыша в работе?

Мы выяснили, что *неподвижный блок не даёт выигрыша в работе*, так как не даёт выигрыш в силе.

Поскольку блоки — подвижный и неподвижный — это разновидности рычага, то для любого рычага вывод об отсутствии выигрыша в работе должен быть справедлив. Приподнимая ломом тяжёлый предмет, получают выигрыш в силе, но путь, который проходит длинный конец лома, гораздо больше расстояния, на который приподнимается предмет. При этом, выиграв в силе, мы обязательно во столько же раз проиграем в пути.

Как показала многовековая практика, **ни один из механизмов не даёт выигрыша в работе.** Используются различные механизмы для облегчения работы человека: в одних случаях целесообразно получить выигрыш в силе, в других — в пути. Иногда имеет смысл изменить направление движения с помощью неподвижного блока. Наконец, простые механизмы позволяют преобразовывать прямолинейное движение во вращательное, и наоборот, как, например, в лебёдках, подъёмных лифтах, часах с гирями и т. д.

Для всех случаев использования простых механизмов установлено правило: **во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.** Это правило было открыто ещё древними учёными и названо «золотым правилом» механики.

5. Пример решения задачи

Груз массой 60 кг поднимают с помощью системы блоков (рис. 107). Какую силу надо приложить к свободному концу каната? На какую высоту подняли груз, если свободный конец каната опустился на 3 м? Какая работа при этом совершена?

Дано:

$$m = 60 \text{ кг}$$

$$h = 3 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$

$$F — ?$$

$$H — ?$$

$$A — ?$$

Решение:

Груз подвешен к подвижному блоку и действует на него с силой $\vec{P}$:

$$P = mg.$$

Подвижный блок даёт выигрыш в силе в 2 раза, а неподвижный блок не изменяет приложенного усилия. Следовательно,

$$F = \frac{P}{2}.$$

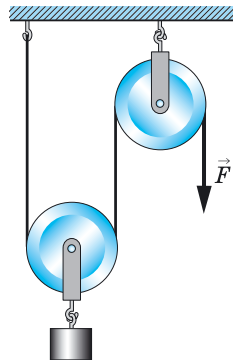


Рис. 107

Проигрыш в пути для подвижного блока означает, что

$$H = \frac{h}{2}.$$

Работа, совершённая силой F , равна

$$A = Fh.$$

Следовательно:

$$P = 60 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 600 \text{ Н}; \quad F = 600 \text{ Н} \cdot \frac{1}{2} = 300 \text{ Н};$$

$$H = 3 \text{ м} \cdot \frac{1}{2} = 1,5 \text{ м}; \quad A = 300 \text{ Н} \cdot 3 \text{ м} = 900 \text{ Дж}.$$

Ответ: $F = 300 \text{ Н}$; $H = 1,5 \text{ м}$; $A = 900 \text{ Дж}$.

Вопросы для самопроверки

1. Что собой представляет блок?
2. Для какой цели используют неподвижный блок?
3. Чем отличается подвижный блок от неподвижного?

4. Подумайте, почему блок можно рассматривать как рычаг?
5. Объясните, почему подвижный блок даёт выигрыш в силе (или проигрыш в пути) в 2 раза.
6. В чём смысл «золотого правила» механики? Приведите примеры, подтверждающие это правило.

Задание 25

1. Груз действует на подвижный блок с силой 800 Н (см. рис. 107). Какая сила действует на крюк, к которому привязан конец верёвки? Какая сила действует на неподвижный блок?
2. Вычислите массу груза, который можно поднять с помощью подвижного блока, если к свободному концу верёвки прикладывается сила 100 Н. Масса блока 500 г.
- 3*. При помощи системы блоков поднимают груз (рис. 108). Какой выигрыш в силе даёт такая система? С какой силой надо тянуть за свободный конец верёвки, если масса груза $m = 150$ кг?
4. Как можно соединить между собой подвижные и неподвижные блоки, чтобы получить выигрыш в силе в 4 раза; в 6 раз?
5. Приподняв груз рычагом, совершили работу 80 Дж. На сколько пришлось при этом опустить другой конец рычага, если действующая на него сила 80 Н?

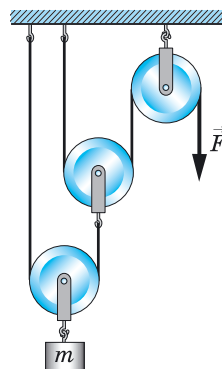


Рис. 108

§ 34. Коэффициент полезного действия

- ✓ Какую физическую величину называют механической работой?

1. При расчёте работы, совершаемой с помощью простого механизма, нас интересовали только сила и пройденный под действием этой силы путь. Найденная подобным образом работа является *полезной* работой (только подъём груза).

На практике реальная работа всегда больше, чем полезная. Так, используя лом для подъёма тяжёлого предмета, например камня, приходится затрачивать определённое усилие на подъём самого лома и, следовательно, совершать дополнительную работу. Используя блок, необходимо совершать работу по преодолению сил трения между блоком и верёвкой, поднятию верёвки, а в подвижном блоке — и самого блока.

2. Полезная работа любого реального механизма всегда меньше его *полной* (или затраченной) работы. Обозначив полезную работу $A_{\text{п}}$, а полную A , можем записать

$$A_{\text{п}} < A.$$

Чем меньше разница между полной и полезной работой механизма, чем меньше в нём потерь, тем он эффективнее. Для характеристики эффективности механизма используют понятие коэффициента полезного действия механизма (КПД). КПД обозначают буквой η (греч. буква «эта»).

Отношение полезной работы к полной работе называют коэффициентом полезного действия механизма:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A}.$$

Обычно КПД выражают в процентах:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A} \cdot 100\%.$$

3. Пример решения задачи

Рычаг применяют для подъёма бетонной плиты массой 400 кг на высоту 10 см. К длинному концу рычага прикладывают силу 1500 Н, при этом точка приложения силы проходит путь 40 см. Найдите КПД рычага.

Дано:	СИ	Решение:
$m = 400 \text{ кг}$		
$h = 10 \text{ см}$	0,1 м	$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A} \cdot 100\%.$
$F = 1500 \text{ Н}$		Полезная работа $A_{\text{п}} = Ph$, где P — вес
$H = 40 \text{ см}$	0,4 м	плиты: $P = mg$.
$g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$		Полная работа $A = FH$.
		Следовательно, $\eta = \frac{mgh}{FH} \cdot 100\%;$
η — ?		

$$\eta = \frac{400 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 0,1 \text{ м}}{1500 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м}} \cdot 100\% \approx 67\%.$$

Ответ: $\eta \approx 67\%.$

Вопросы для самопроверки

1. Какую работу называют полезной?
2. В чём отличие полезной работы от полной?
3. Что такое КПД механизма?
4. Может ли КПД механизма быть равным или больше 100%? Ответ поясните.

Задание 26

1. Для подъёма по наклонной плоскости груза массой 200 кг была приложена сила 250 Н. Высота наклонной плоскости 1,5 м, длина 15 м. Определите КПД этой наклонной плоскости.
 2. Каким должно быть отношение высоты наклонной плоскости к её длине, чтобы сила тяги была равна половине веса поднимаемого груза? КПД наклонной плоскости принять равным 100%.
 3. По наклонному помосту длиной 6 м и высотой 2 м втянут ящик массой 40 кг. Сила трения ящика о помост составляет 25 Н. Вычислите полезную и полную работу, совершённую при этом, и КПД помоста.
 4. Определите полезную работу, совершённую при подъёме груза на высоту 0,4 м (рис. 109). Какую полную работу пришлось совершить? Вычислите КПД установки.
 - 5*. Из шахты глубиной 150 м поднимают на канате груз массой 500 кг. Масса каждого метра каната 1 кг. Определите КПД установки.
- Указание.* Поскольку по мере подъёма груза длина каната изменяется от 150 м до 0 и соответственно, его масса меняется от 150 кг до 0, то можно считать массу каната, поднимаемого из шахты глубиной 150 м, равной 75 кг.

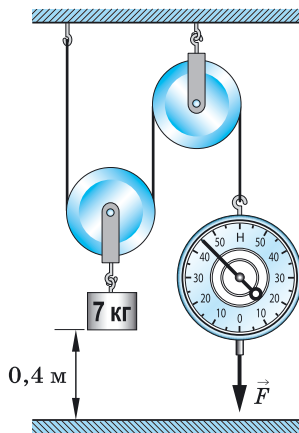


Рис. 109

Лабораторная работа № 10

Измерение КПД при подъёме тела по наклонной плоскости

Цель работы:

экспериментально определить КПД наклонной плоскости.

Приборы и материалы:

брусек, динамометр, деревянная доска, штатив с муфтой и лапкой, измерительная лента.

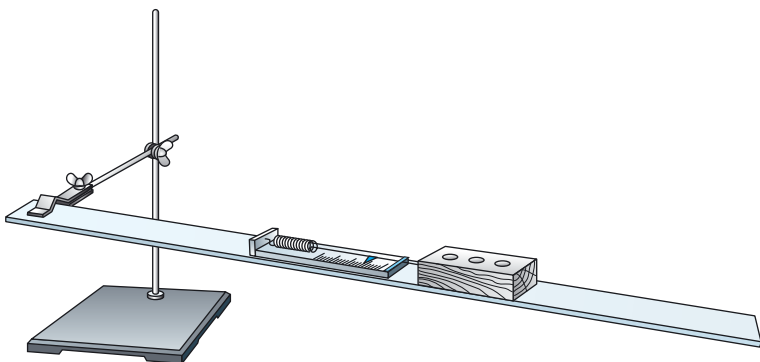


Рис. 110

Порядок выполнения работы

1. Установите наклонно доску, закрепив её в лапке штатива (рис. 110).
2. Измерьте длину и высоту наклонной плоскости.
3. Измерьте с помощью динамометра вес бруска.
4. Прикрепите к динамометру брусок и равномерно перемещайте его вверх по наклонной плоскости. Измерьте силу тяги.
5. Вычислите полезную работу, которая равна работе, совершаемой при подъёме бруска вертикально вверх.
6. Результаты измерений с учётом абсолютной погрешности и вычислений запишите в таблицу 18.
7. Вычислите полную работу, которая равна работе, совершаемой при подъёме бруска на ту же высоту вдоль наклонной плоскости.
8. Вычислите КПД наклонной плоскости.

Таблица 18

№ опыта	Длина наклонной плоскости l , м	Высота наклонной плоскости h , м	Вес бруска P , Н	Сила тяги F , Н	Полезная работа $A_{\text{п}} = Rh$, Дж	Полная работа $A = Fl$, Дж	КПД η , %
1							
2*							

9*. *Дополнительное задание.* Определите, как влияет высота наклонной плоскости на КПД при подъёме по ней тела. Для этого измените высоту прикрепления лапки на штативе и сделайте дополнительные измерения.

§ 35. Энергия

✓ При каких условиях тело совершает работу?

1. Не всякое тело и не в любом состоянии способно совершить работу.

Чтобы в этом убедиться, представьте себе шар, который лежит на поверхности стола. Шар находится в покое, и ни о какой работе не может быть и речи. Но если дать ему возможность упасть с края стола, то шар совершит работу. Подставьте на полу коробку с песком — вмятина в песке, оставленная шаром, наглядно убедит вас в этом (рис. 111, а). Значит, покоящееся на некоторой высоте тело работы не совершает, но в определённых условиях (если дать ему упасть с этой высоты) способно её совершить.

Совершает ли работу движущееся тело, которое не взаимодействует с другими телами? Нет, так как тело движется по инерции и сила на него не действует. Может ли оно в определённых условиях совершить работу? Поставим на пути катящегося металлического шарика деревянный брусок и увидим, что последний сдвинется с места после удара шарика (рис. 111, б). Значит, движущееся тело способно совершить работу в определённых условиях. Говорят, что

если тело может совершить работу, то оно обладает энергией.

2. Любая машина или механизм тоже не всегда совершает работу. Чтобы двигатель автомобиля работал, вращая колёса и перемещая его, необходимо заправить автомобиль бензином. Бензин, воспламеняясь, сгорает и отдаёт свою энергию двигателю; автомобиль приходит в движение. Для работы ветряного двигателя (рис. 112, а) нужен ветер. Энергия ветра приведёт в дви-

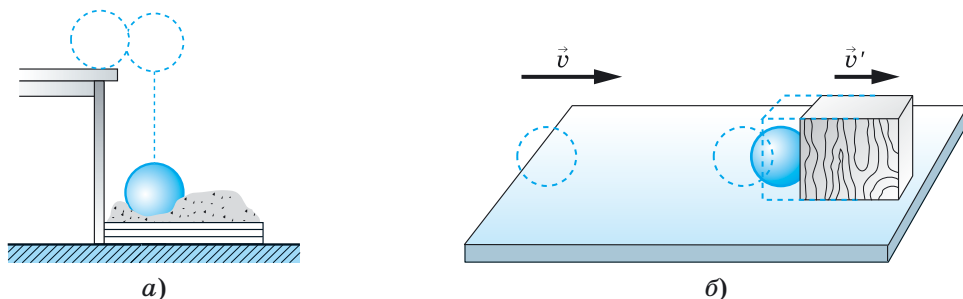


Рис. 111



а)



б)

Рис. 112

жение лопасти двигателя. Двигатели гидроэлектростанции станут работать только после того, как поток воды из водохранилища, расположенного выше уровня реки, начнёт падать вниз (рис. 112, б). Падающая вода, обладая энергией, приведёт в движение турбины электростанции. Иначе говоря, чтобы машина (механизм, двигатель) совершала работу, она должна обладать определённой энергией.

3. Энергия — это *физическая величина*. Её принято обозначать буквой *E*.

Энергия, которой обладает тело, как и любая физическая величина, может быть измерена. Так, например, поднятое над землёй тело обладает энергией; она равна работе, которую может совершить тело при падении на поверхность Земли (или работе, которую надо совершить, чтобы поднять тело на эту высоту с поверхности Земли). Движущийся с некоторой скоростью автомобиль обладает энергией; она равна работе, которую он может совершить при полной остановке, преодолев силу трения. Энергия сжатого поршнем газа в цилиндре равна работе, которую газ может совершить при расширении и перемещении поршня, и т. д.

Чем большую работу может совершить тело, тем большей энергией оно обладает.

Таким образом, энергию выражают в тех же единицах, что и работу, т. е. в *джоулях*.

Вопросы для самопроверки

1. О каких телах говорят, что они обладают энергией?
2. Как вы понимаете выражение: «Энергия — это физическая величина»?
3. Назовите единицу энергии. Объясните, почему единица энергии и единица работы одна и та же.
4. Приведите примеры, доказывающие, что поднятое над поверхностью земли тело обладает энергией.

§ 36. Кинетическая и потенциальная энергия

- ✓ В каком случае говорят, что тело обладает энергией?
- ✓ Чему равна единица энергии?

1. В механике различают два вида энергии — кинетическую и потенциальную.

Энергию, которой обладает тело вследствие своего движения, называют кинетической энергией (E_k).

Кинетическая энергия зависит от скорости движения тела и его массы. Действительно, чем массивнее тело, тем большую работу оно может совершить. Сравните результаты действия пули, попадающей в мишень, и артиллерийского снаряда, движущегося с той же скоростью и попадающего в ту же мишень. Во втором случае будет совершена бóльшая работа, чем в первом. Очевидна зависимость энергии и от скорости тела: чем больше скорость, тем большую работу тело может совершить, т. е. тем больше его энергия. Представьте себе результат действия пули, первый раз брошенной в мишень рукой (скорость её движения достаточно небольшая), а второй раз — вылетевшей из ствола стрелкового оружия.

Таким образом, *чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия.*

Кинетическую энергию тела вычисляют по формуле:

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

2. Энергию, которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел (или частей одного и того же тела), называют потенциальной энергией ($E_{\text{п}}$).

Потенциальной энергией обладает, например, тело, поднятое над землёй. Земля и тело взаимно притягиваются. Падая с высоты на землю, тело совершает работу. Так, ударник копра при падении забивает сваю (рис. 113). При этом совершается работа против сил сопротивления земли. Поднятый

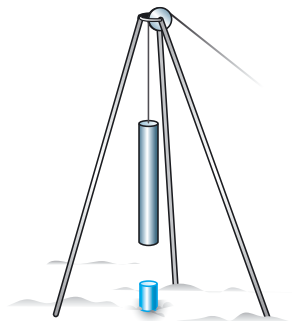


Рис. 113

наверх ударник копра снова запасает энергию. Потенциальная энергия зависит от массы тела и высоты, на которую оно поднято.

Чтобы забить сваю, масса ударника копра должна быть достаточно большой. Если с той же высоты, на которой находится ударник, упадёт лёгкое тело, например мяч, то работа мяча будет столь незначительна, что свая останется неподвижной. Иначе говоря, потенциальная энергия мяча много меньше потенциальной энергии копра.

Работа, которую может совершить поднятое на некоторую высоту тело, прямо пропорциональна этой высоте. Потенциальная энергия падающей воды, а следовательно, и мощность гидроэлектростанции зависит от высоты плотины. Именно поэтому реки, текущие по равнине, менее пригодны для строительства ГЭС, чем реки в горных районах.

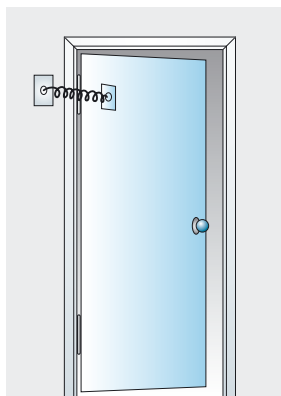
Следовательно, чем больше высота, на которую поднято тело, и чем больше его масса, тем больше потенциальная энергия этого тела.

Потенциальную энергию тела, поднятого над землёй, вычисляют по формуле:

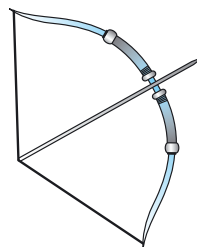
$$E_{\text{п}} = mgh.$$

Обладает потенциальной энергией и любое деформированное тело. Так, растянутая дверная пружина, сжимаясь, приводит в движение дверь (рис. 114, а). Пружина совершает работу — возвращает дверь назад. Деформированная тетива лука для стрельбы (рис. 114, б) совершает работу — сообщает стреле скорость.

3. Поскольку, как вам известно, скорость тела является величиной относительной, то и кинетическая энергия тела тоже величина относительная. Её значение зависит от выбора тела от-



а)



б)

Рис. 114

счёта, относительно которого рассматривается движение и определяется его кинетическая энергия.

Например, кинетическая энергия тела, покоящегося на столе вагона движущегося поезда, равна нулю относительно стола или вагона. Относительно же платформы тело движется, значит, обладает кинетической энергией.

Значение потенциальной энергии определяется взаимным расположением взаимодействующих тел, которое не зависит от выбора тела отсчёта. Однако значение потенциальной энергии одного из взаимодействующих тел зависит от того, относительно какого положения она вычисляется, т. е. от выбора нулевого уровня потенциальной энергии.

Так, потенциальная энергия тела, покоящегося на столе, равна нулю, если рассматривать его положение относительно стола. Если же отсчёт энергии вести от пола, то тело будет находиться на определённой высоте и, следовательно, обладать некоторой потенциальной энергией.

Вопросы для самопроверки

1. Какие существуют виды механической энергии?
2. Приведите примеры тел, обладающих потенциальной энергией; кинетической энергией.
3. Зависит ли значение энергии от выбора положения тела отсчёта? Приведите примеры.

Задание 27

1. Какой энергией обладает летящая пуля? (Не спешите с ответом!)
2. Обладает ли энергией Луна? Если да, то какими видами энергии?
3. Один ученик утверждает, что потенциальная энергия лежащей на столе книги равна нулю, а другой — что книга обладает определённой потенциальной энергией. Кто из них прав? Почему?
4. Чему равна кинетическая энергия автомобиля массой 1 т, движущегося со скоростью $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$?
5. Камень массой 20 кг находится на высоте 100 м относительно земли. Чему равна его потенциальная энергия?

§ 37. Закон сохранения энергии в механике

- ✓ Какую энергию называют потенциальной? От каких физических величин она зависит?
- ✓ Какую энергию называют кинетической? От каких физических величин она зависит?

1. В этом параграфе вы познакомитесь с одним из самых важных, самых основных законов природы — законом сохранения энергии. Это не только физический закон. Он применяется в астрономии для расчёта движения планет, звёзд, комет, в космонавтике — для расчёта движения космических кораблей и спутников, в технике — для расчёта движения и работы различных машин и механизмов, а также в химии, биологии и т. д.

2. Прежде чем сформулировать закон сохранения энергии в механике, рассмотрим несколько простых примеров.

Воспользуемся установкой, состоящей из шара, закреплённого между двумя упругими пружинами (рис. 115).

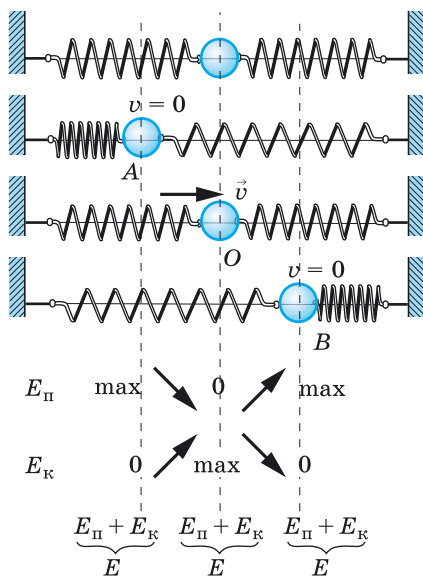


Рис. 115

В начальный момент времени шар находится в положении O , при этом деформация пружин отсутствует. Если отвести шар в сторону — положение A — и отпустить, то он начнёт двигаться благодаря действию упругих пружин. Пройдя исходное положение O , шар продолжит движение в сторону, противоположную первоначальному отклонению. После того как шар достигнет положения B , его движение не прекратится. Он продолжит его, возвращаясь к исходному положению O и далее к положению A . Если пренебречь силой трения в системе тел шар — пружина, то колебания будут продолжаться бесконечно.

3. Что же при этом происходит с энергией шара и пружины? Как она изменяется?

В положении A наибольшего отклонения деформированные пружины обладают максимальной потенциальной энергией $E_{\text{п}} = \text{max}$. Затем шар начинает двигаться, увеличивая свою скорость, и эта энергия превращается в кинетическую энергию шара. Потенциальная энергия пружин уменьшается, а кинетическая энергия шара увеличивается и достигнет наибольшего значения $E_{\text{к}} = \text{max}$ в положении O . В этом положении деформация у пружин отсутствует и, следовательно, их потенциальная энергия равна нулю $E_{\text{п}} = 0$.

При движении от положения O до положения B скорость шара уменьшается, поэтому уменьшается и его кинетическая энергия. В момент наибольшего отклонения шара его кинетическая энергия равна нулю $E_{\text{к}} = 0$. Деформация же пружин увеличивается и становится максимальной в положении B . Следовательно, их потенциальная энергия возрастёт до $E_{\text{п}} = \text{max}$.

Таким образом, происходит превращение энергии из потенциальной в кинетическую и наоборот. Но главное при этом, что сумма потенциальной и кинетической энергии остаётся постоянной, т. е. постоянной остаётся **полная механическая энергия тела E** :

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} = \text{const.}$$

На рисунке 115 схематично также изображены изменения потенциальной и кинетической энергии шара и упругих пружин (увеличению соответствует стрелка ↗, уменьшению — ↘) и закон сохранения энергии для трёх фиксированных положений O , A , B .

4. Взаимные превращения потенциальной и кинетической энергии можно показать и на многих других примерах.

Поднятый на высоту упругий мяч обладает потенциальной энергией относительно пола (рис. 116). Его скорость в этот момент (в точке A) равна нулю. По мере падения она будет увеличиваться, а высота подъёма уменьшаться. Значит, кинетическая энергия мяча увеличивается, а потенциальная — уменьшается. К моменту удара о пол (точка B) потенциальная энергия мяча станет равной нулю, а кинетическая приобретёт

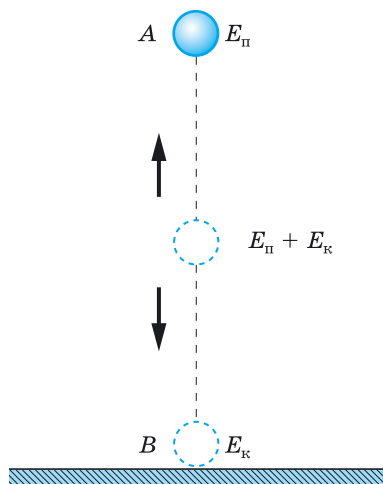


Рис. 116

наибольшее значение. Поскольку мяч упругий, после удара он отскочит от пола и его кинетическая энергия будет превращаться в потенциальную по мере подъёма. В наивысшей точке подъёма потенциальная энергия снова станет максимальной, а кинетическая — равной нулю.

Таким образом, полная механическая энергия мяча остаётся постоянной, но в разных точках траектории он обладает различными видами энергии. В точке A мяч обладает максимальной потенциальной энергией, в точке B — максимальной кинетической, между точками A и B — кинетической и потенциальной одновременно.

5. Многочисленные опыты показали, что если между телами действуют только силы тяжести и силы упругости, то полная механическая энергия сохраняется.

В этом и состоит закон сохранения механической энергии.

6. Вы, видимо, обратили внимание, что в рассматриваемых примерах не учитывалось действие сил трения. Дело в том, что при наличии сил трения механическая энергия не сохраняется. В этом можно убедиться на простом примере.

Предположим, что с некоторой высоты падает мяч. Ударившись о пол, мяч отскочит, но на прежнюю высоту он уже не под-

нимется. Это означает, что его механическая энергия уменьшилась: в начальный момент времени она была равна $E_1 = mgh_1$, а в конечный момент времени $E_2 = mgh_2$. Часть энергии была затрачена на совершение работы по преодолению сопротивления воздуха, на совершение работы против сил упругости при деформации мяча.

Представьте себе, что вы молотком бьёте по большому металлическому бруску (можно по толстому гвоздю). Вначале, подняв молоток вверх, вы сообщаете ему потенциальную энергию. Затем потенциальная энергия молотка превращается в кинетическую и в момент удара куда-то исчезает. Молоток опять вам надо поднимать вверх, приложив определённое усилие. Куда же исчезает энергия? Дотроньтесь до металлического бруска после нескольких ударов по нему, и вы почувствуете, что брусок нагрелся. Механическая энергия молотка превратилась в какую-то другую энергию (немеханическую), за счёт которой брусок и нагрелся. Но с этим видом немеханической энергии вы познакомитесь позже, а сейчас заметим, что и в этом примере, и во всех подобных случаях полная энергия (и механическая, и немеханическая) взаимодействующих тел всё равно остаётся постоянной.

Вопросы для самопроверки

1. В чём заключается закон сохранения механической энергии?
2. Всегда ли выполняется закон сохранения механической энергии?
3. Пользуясь рисунком 115, объясните, какие изменения энергии происходят в опыте с движущимся шаром.

Задание 28

1. Объясните, какие превращения энергии и почему происходят в следующих случаях:
 - а) при движении мяча, брошенного вверх;
 - б) при скатывании шара с наклонной плоскости;
 - в) при падении потока воды в водопаде;
 - г) при падении пластилинового шарика на пол.
2. Что убеждает нас в справедливости закона сохранения механической энергии? Ответ обоснуйте.

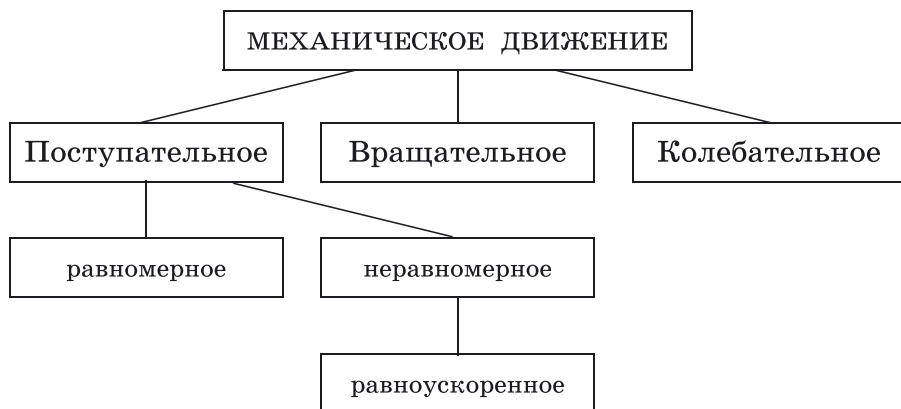
Темы докладов и проектов

1. Простые механизмы в строительстве.
2. История создания систем единиц.
3. Единицы величин, используемые за рубежом.
4. Жизнь в состоянии невесомости.



Основное в главе

1. Вы изучили различные виды механического движения.



2. Характеристики механического движения (табл. 19).

Таблица 19

Физическая величина	Обозначение	Единица	Связь между величинами	
			Равномерное движение	Равноускоренное движение
Путь	s	м	$s = vt$	
Скорость	v	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$v = \text{const}$	$v = v_0 + at$
Ускорение	a	$\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$	$a = 0$	$a = \text{const}$

3. Величины, характеризующие взаимодействие тел (табл. 20).

Таблица 20

<i>Физическая величина</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Единица</i>	<i>Прибор для измерения</i>
Масса	m	кг	Весы
Сила	F	Н	Динамометр

4. Виды сил, рассматриваемые в механике (табл. 21).

Таблица 21

<i>Сила</i>	<i>Определение</i>	<i>Формула</i>
Упругости	Сила, возникающая при деформации тела	$F_{\text{упр}} = -k\Delta l$
Всемирного тяготения	Сила всемирного тяготения прямо пропорциональна произведению масс взаимодействующих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними	$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$
Тяжести	Сила, с которой Земля притягивает к себе тела	$F_{\text{тяж}} = mg$
Трения	Сила, возникающая при движении одного тела по поверхности другого и направленная против движения тела	$F_{\text{тр}} = \mu N$

5. Движение и взаимодействие тел могут быть охарактеризованы с помощью энергетических величин (табл. 22).

Таблица 22

<i>Физическая величина</i>	<i>Определение</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Единица</i>	<i>Формула</i>
Работа	Величина, прямо пропорциональная силе, действующей на тело, и пути, пройденному им в направлении действия силы	A	Дж	$A = Fs$

Окончание табл.

Физическая величина	Определение	Обозначение	Единица	Формула
Мощность	Величина, равная отношению работы, совершаемой в течение некоторого времени, к этому времени	N	Вт	$N = \frac{A}{t}$
Энергия	Характеризует способность тела совершать работу. Величина, равная совершённой работе	E	Дж	
Кинетическая энергия	Энергия, которой обладает движущееся тело (зависит от скорости движения тела и его массы)	E_k	Дж	$E_k = \frac{mv^2}{2}$
Потенциальная энергия	Энергия, которая определяется взаимным расположением взаимодействующих тел или их частей (для поднятого над землёй тела зависит от его массы и высоты подъёма)	$E_{\text{п}}$	Дж	$E_{\text{п}} = mgh$

6. Если между телами действуют только силы тяжести или силы упругости, то их полная механическая энергия сохраняется.



Звуковые явления

Мир, в котором мы живём, наполнен самыми разнообразными звуками. Мы слышим щебет птиц, гудки автомобилей, человеческую речь. Для того чтобы понять, что такое звук, необходимо расширить представления о механическом движении.

Вы уже познакомились с поступательным прямолинейным движением. Вы также представляете, какое движение является вращательным, а какое — колебательным. Звуковые колебания связаны с колебательным и волновым видами движения. Рассмотрим их подробнее.

§ 38. Звук. Источники звука

- ✓ Что называют механическим движением?
- ✓ Какое движение называют колебательным?

1. Обратимся к своему житейскому опыту и найдём ответы на такие вопросы: когда тело издаёт звук? Что нужно сделать, чтобы тело звучало?

Для того чтобы выяснить, когда тело становится источником звука, сделаем следующий опыт. Положим на край стола металлическую линейку так, чтобы один конец её свешивался со

стола, а другой был плотно к нему прижат, как показано на рисунке 117. Ударив по свободному концу линейки, увидим, что она начнёт колебаться, и услышим звук. Изменив длину свободного конца, повторим опыт. Отметим, что звук будет иным.

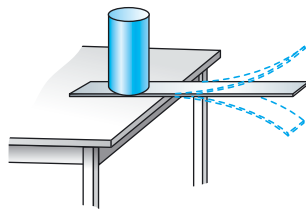


Рис. 117

Натянем между двумя прочно закреплёнными штативами тонкую проволоку (рис. 118), оттянем её вверх и отпустим. Проволока начнёт колебаться и будет издавать звук. То же самое происходит в струнных музыкальных инструментах: гитаре, мандолине, балалайке и др.

2. При изучении звуковых явлений в качестве источника звука часто используют специальный прибор — **камертон**. Он изображён на рисунке 119. Если стукнуть молоточком по ножке камертона, то он зазвучит. Ножки камертона при этом будут колебаться. Обнаружить колебания можно, подвесив около ножки бусинку. Будет хорошо видно, как бусинка отскакивает от звучащего камертона.

Таким образом, рассмотренные опыты свидетельствуют о том, что *всякое звучащее тело колеблется* или что *источником звука является колеблющееся тело*.

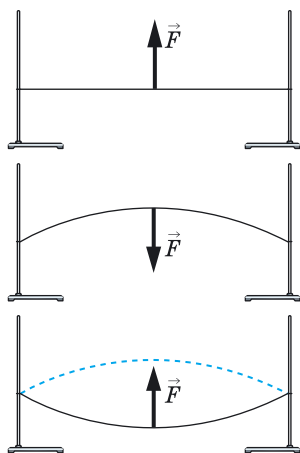


Рис. 118

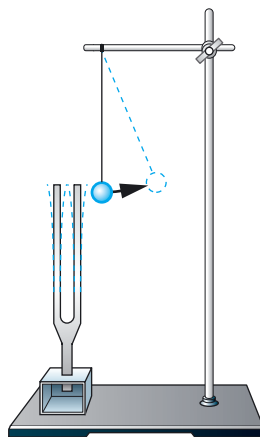


Рис. 119

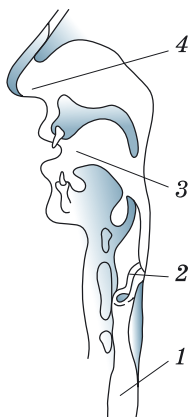


Рис. 120

3. Каково строение голосового аппарата человека? Что колеблется, когда человек говорит или поёт?

На рисунке 120 изображена схема голосового аппарата человека. Он подобен трубам музыкальных инструментов. В верхней части дыхательного горла (1) — в гортани — находятся голосовые связки (2), представляющие собой две упругие перепонки.

При дыхании голосовые связки раздвинуты, и воздух свободно проходит в лёгкие и из них. Когда человек произносит звук, связки сближаются, движение воздуха теперь затруднено. Воздушный поток, который выходит из лёгких, приводит связки в колебание, и возникает звук.

Разнообразие звуков, их оттенки создаются дальше на пути от гортани через полость рта (3) и носа (4).

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение совершает звучащее тело?
2. Объясните, почему звучат струнные музыкальные инструменты.
3. Как доказать, что ножка звучащего камертона совершает колебания?
4. Всякое ли колеблющееся тело звучит?

Задание 29

1. Приведите примеры различных звуков. Что является источником звука в каждом из приведённых случаев?
- 2_д. Каково строение голосового аппарата человека? Подготовьте сообщение на эту тему, используя различные источники информации, в том числе Интернет.
- 3_с. Придумайте и осуществите опыт, доказывающий, что звучащее тело колеблется. Опишите ход проведения опыта и свои наблюдения.

§ 39. Колебательное движение

✓ Что называют инертностью тела?

1. Удобнее всего изучать колебательное движение на примере **маятника** — небольшого предмета (шарика), прикреплённого к длинной нити (рис. 121, *а*).

На шарик действуют две силы: сила тяжести $\vec{F}_{\text{тяж}}$ и сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$. Эти силы равны по модулю и направлены в противоположные стороны. Их равнодействующая равна нулю. Говорят, что в этом случае маятник находится в положении равновесия.

2. Выведем маятник из положения равновесия, отклонив его вправо. На шарик по-прежнему действуют две силы: сила тяжести $\vec{F}_{\text{тяж}}$ и сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, но направлены они под углом друг к другу. Их равнодействующая $\vec{F}$ теперь отлична от нуля. Поскольку шарик стремится вернуться в положение равновесия, то сила $\vec{F}$ направлена к положению равновесия (рис. 121, *б*). Под действием силы $\vec{F}$ шарик будет возвращаться в это положение, благодаря инертности пройдёт его, не останавливаясь, и отклонится в противоположную сторону (рис. 121, *в*). И опять равнодействующая $\vec{F}$ сил тяжести и упругости будет возвращать маятник в положение равновесия. Этот процесс будет повторяться через одинаковые промежутки времени.

Таким образом, если маятник вывести из положения равновесия, а затем отпустить, то он будет отклоняться от этого положе-

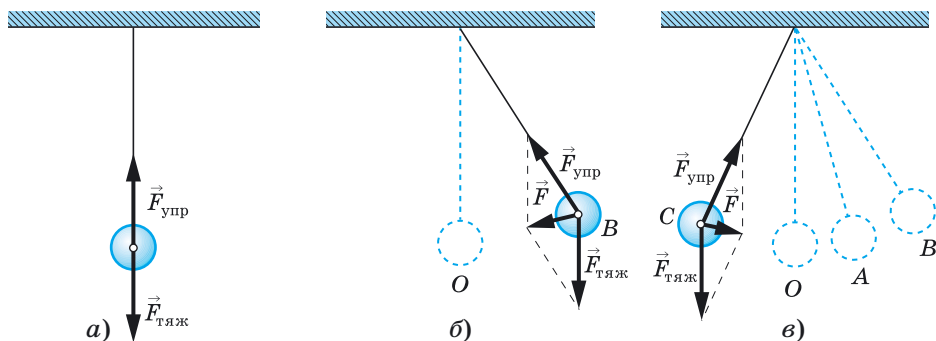


Рис. 121

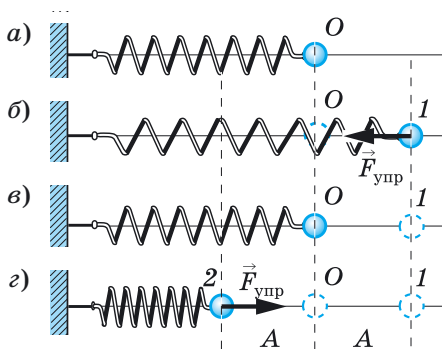


Рис. 122

ния то в одну, то в другую сторону, т. е. будет совершать колебания.

Движения тела, точно или почти точно повторяющиеся через равные промежутки времени, называют механическими колебаниями.

3. Колебательное движение может совершать груз, прикреплённый к пружине (рис. 122). Такое устройство называют **пружинным маятником.**

Пока пружина не деформирована (рис. 122, а), равнодействующая всех сил, действующих на маятник, равна нулю, и он находится в положении равновесия (точка O).

Выведем маятник из положения равновесия, оттянув груз вправо. Пружина деформируется, и в ней возникнет сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$, направленная к положению равновесия (рис. 122, б). Эта сила будет возвращать маятник в положение равновесия (рис. 122, в), которое он пройдёт благодаря инертности и отклонится влево (рис. 122, г). В этой точке сила упругости пружины вновь достигнет максимального значения и будет возвращать маятник в положение равновесия. Процесс будет повторяться.

4. Введём величины, характеризующие колебательное движение.

Отклонение маятника от положения равновесия называют смещением.

Смещение обычно обозначают буквой x .

Наибольшее отклонение маятника от положения равновесия называют амплитудой колебания.

Амплитуду обозначают буквой A (см. рис. 122, г). Основной единицей смещения и амплитуды является *метр* (м).

Пусть маятник начал движение из точки 1 (см. рис. 122, б), дошёл до точки 2 (см. рис. 122, г) и вернулся обратно в точку 1. В этом случае говорят, что маятник совершил одно **полное колебание**.

Время, за которое маятник совершает одно полное колебание, называют периодом колебаний.

Период обозначают буквой T и измеряют в *секундах* (с).

Важной характеристикой колебательного движения является частота.

Частота колебаний — это число полных колебаний за одну секунду.

Частоту обозначают буквой ν (греч. буква «ню»). Чем больше колебаний совершает маятник за 1 с, тем больше его частота, и наоборот, чем меньше колебаний совершает маятник, тем меньше его частота колебаний. Единицей частоты является $\frac{1}{\text{с}}$, и называют её *герц* (Гц).

1 Гц — частота таких колебаний, при которых за 1 с совершается одно полное колебание.

Частота и период колебаний связаны между собой. Например, если маятник за 5 с совершил 10 полных колебаний, то частота колебаний равна $10 : 5 \text{ с} = 2 \text{ Гц}$. Период колебаний равен $5 \text{ с} : 10 = 0,5 \text{ с}$. Таким образом,

частота колебаний обратно пропорциональна периоду:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

5. Мы установили, что всякое звучащее тело колеблется. Однако не всякое колеблющееся тело издаёт звук. Например, колеблющийся пружинный маятник не звучит. Мы не слышим звуки в тех случаях, когда колебания тела происходят слишком быстро или слишком медленно. Дело в том, что человеческое ухо способно воспринимать как звук колебания лишь определённой частоты: в среднем больше 16 Гц и меньше 20 000 Гц. Колебания, частоты которых находятся в этом диапазоне, называют **звуковыми**. Колебания, частота которых меньше 16 Гц, называют **инфразвуком**, а колебания с частотой больше 20 000 Гц — **ультразвуком**.

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называют механическими колебаниями?
2. Опишите процесс колебаний пружинного маятника.

3. Какая сила заставляет пружинный маятник возвращаться в положение равновесия?
4. Приведите примеры колебательного движения.
- 5*. Какие превращения энергии происходят при колебаниях пружинного маятника и шарика, подвешенного на нити?
6. Что называют смещением, амплитудой, периодом и частотой колебаний? Назовите единицы этих величин.
7. Звуки каких частот воспринимает человеческое ухо?

Задание 30

1. Маятник совершает 4 полных колебания за 8 с. Определите период и частоту его колебаний.
2. Какой путь пройдёт маятник за одно полное колебание, если амплитуда колебаний равна 4 см?
3. Установите экспериментально качественную зависимость периода колебаний груза, подвешенного на нити, от длины нити. Для этого привяжите к небольшому грузу нить длиной 25 см и закрепите получившийся маятник. Приведите маятник в колебательное движение. Определите время 10 полных колебаний, а затем вычислите период колебаний. Повторите опыт с маятником длиной 50 см. Результаты занесите в таблицу 23. Сделайте вывод.

Таблица 23

<i>№ опыта</i>	<i>Длина нити l, см</i>	<i>Число полных колебаний n</i>	<i>Время колебаний t, с</i>	<i>Период колебаний T, с</i>
1				
2				

§ 40. Период колебаний маятника

- ✓ Что называют периодом колебаний?
- ✓ Что характеризует жёсткость тела?
- ✓ Что называют ускорением свободного падения?

1. Ещё раз обратимся к колебаниям груза на нити.

Груз, подвешенный на нити, длина которой много больше размеров груза, называют математическим маятником.

Например, длина нити может быть равна 30 см, а размеры груза 2 см. Кроме того, считают, что вся масса маятника сосре-

доточена в грузе, нить нерастяжима и её масса мала по сравнению с массой груза.

2. Наблюдая колебания такого маятника, вы заметили, что период его колебаний зависит от длины нити.

Кроме того, установлено, что период колебаний математического маятника зависит от ускорения свободного падения. При этом, чем больше ускорение свободного падения, тем меньше период колебаний маятника. Действительно, чем сильнее притяжение маятника (например, к Земле), тем за меньшее время он совершит полное колебание, а значит, тем меньше его период.

Так, поскольку ускорение свободного падения на полюсе $9,83 \frac{м}{с^2}$, а на экваторе — $9,78 \frac{м}{с^2}$, то период колебаний одного и того же математического маятника на полюсе меньше, чем на экваторе.

3. Выясним, от чего зависит период колебаний пружинного маятника.

Возьмём две пружины разной жёсткости. Прикрепим к каждой из них по одинаковому шару и приведём пружины в колебательное движение. Можно заметить, что чем больше жёсткость пружины, тем меньше период колебаний.

Прикрепим к двум одинаковым пружинам шары разной массы и приведём их в колебание. Наблюдая за этими колебаниями, заметим, что чем больше масса шарика, тем за большее время он совершит одно полное колебание, т. е. тем больше его период.

Вопросы для самопроверки

1. Какой маятник называют математическим?
2. От чего зависит период колебаний математического маятника?
3. От чего зависит период колебаний пружинного маятника?

Задание 31

1. Докажите экспериментально, что период колебаний математического маятника не зависит от его массы и амплитуды колебаний. Выполняя эксперимент, отклоняйте маятник на угол не больше 10° .
2. Используя пружины сначала разной жёсткости, затем разной длины, но одинаковой жёсткости, а также грузы разной массы, докажите экспериментально, что период колебаний пружинного маятника зависит от его массы и жёсткости пружины и не зависит от амплитуды колебаний.

§ 41. Волновое движение

- ✓ Что называют механическими колебаниями? Что называют периодом, частотой колебаний?
- ✓ Что является источником звука?

1. Чтобы понять, как звуки от источника доходят до человека, который их воспринимает, рассмотрим, как колебания распространяются в среде.

Вы часто наблюдали волны на поверхности озера или пруда. Их можно увидеть и на поверхности лужи. Если бросить в достаточно глубокую лужу камень, то от него во все стороны пойдут волны или, как часто говорят, круги.

Волны на воде можно продемонстрировать на опыте. Для этого используют волновую ванну (рис. 123). К краю ванны прикреплена пластина с остриём, которая может совершать колебания (вибратор). При колебаниях остриё касается поверхности воды, и по ней распространяется волна.

Можно создать волновое движение с помощью резинового шнура. Закрепим один конец шнура и натянем его. Затем свободный конец шнура резко поднимем и опустим. По шнуру «побежит» волна; мы увидим, что по шнуру перемещаются *горбы* и *впадины* (рис. 124).

2. Волновое движение можно наблюдать в длинной пружине, расположенной горизонтально. Если один конец пружины закрепить, а другой слегка сжать и отпустить, то по пружине тоже «побежит» волна (рис. 125). Однако в этом случае перемещаются *сгущения* и *разрежения*.

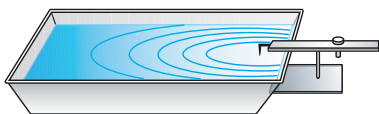


Рис. 123

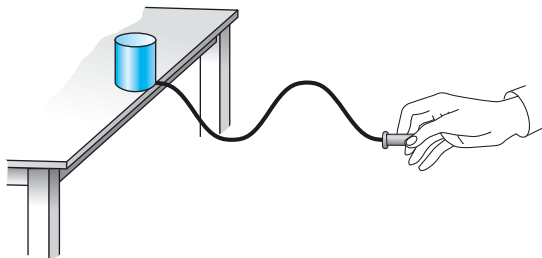


Рис. 124

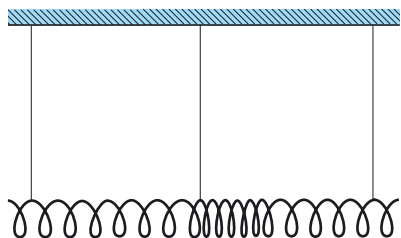


Рис. 125

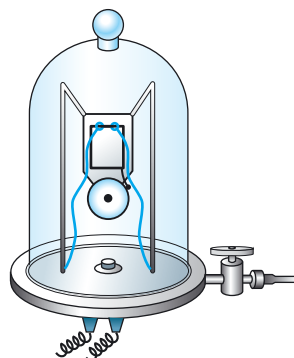


Рис. 126

Волновым движением называют процесс распространения колебаний в среде.

Для того чтобы возникла волна, необходим источник колебаний.

3. Чтобы ответить на вопрос, как распространяется звук, сделаем опыт. Под колокол воздушного насоса на мягкую подставку поставим электрический звонок (рис. 126). Замкнём цепь звонка. По цепи пойдёт электрический ток, звонок зазвенит. Звук возникает благодаря тому, что колеблющийся молоточек ударяет о звонкую чашу и приводит её в колебательное движение.

Откачаем из-под колокола воздух. Мы увидим, что молоточек по-прежнему колеблется и ударяет о чашу, но звук будет едва слышен. Это доказывает, что для распространения звука необходимо наличие среды.

Для того чтобы волна распространялась, необходимо наличие среды (шнур, пружина, вода, воздух).

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называют волновым?
2. Какие условия необходимы для существования волнового движения?
3. Приведите примеры волнового движения.
4. Каковы условия возникновения и распространения звука?

§ 42. Длина волны

- ✓ Какое движение называют волновым?
- ✓ Что называют периодом и частотой колебаний?

1. Одной из характеристик волнового движения является длина волны.

Расстояние между двумя ближайшими горбами или впадинами волны (рис. 127, а) или расстояние между двумя ближайшими сгущениями или разрежениями волны (рис. 127, б) называют длиной волны.

Рассматривая фотографию волны (рис. 127, в), заметим, что картина волнового движения повторяется в пространстве на расстояниях, равных длине волны.

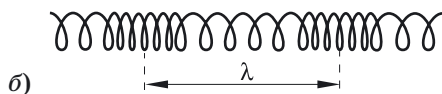
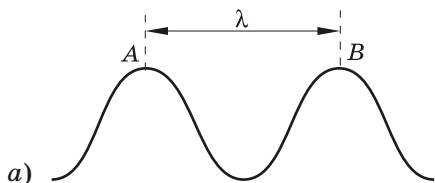
Длина волны обозначается буквой λ (греч. буква «ламбда»). Её основной единицей является *метр* (м).

2. Вспомните опыт с распространением волны по шнуру (см. рис. 124). Для того чтобы волна дошла от свободного конца шнура до закреплённого, нужно некоторое время. Следовательно, волна распространяется с определённой скоростью.

Под скоростью волны v понимают скорость перемещения горба или сгущения. Скорость волны зависит от свойств среды, в которой она распространяется.

Зная длину волны λ и период колебаний частиц T , запишем формулу для скорости волны:

$$v = \frac{\lambda}{T}.$$



в)



Рис. 127

Поскольку $T = \frac{1}{\nu}$, то $v = \lambda \nu$, откуда

$$\lambda = \frac{v}{\nu}.$$

Таким образом, *длина волны в среде тем больше, чем меньше частота колебаний и чем больше скорость распространения волны.*

Так, тела, колеблющиеся с разной частотой, возбуждают в одной и той же среде волны различной длины. Одно и то же колеблющееся тело в разных средах также возбуждает волны разных длин.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют длиной волны?
2. Что понимают под скоростью волны?
3. Как зависит длина волны от частоты колебаний вибратора и скорости её распространения?
- 4*. Объясните, почему длина волны зависит от частоты колебаний вибратора.

Задание 32

1. Тело (например, остриё в волновой ванне) колеблется сначала с частотой 6 Гц, а затем с частотой 4 Гц, возбуждая волны в воде. Сравните длины волн, распространяющихся в воде.
2. Чему равна длина волны, распространяющейся со скоростью $2,4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, если частота вибратора 3 Гц?
3. Чему равна скорость волны, распространяющейся по резиновому шнуру, если период колебаний частиц 0,5 с, а длина волны 1,5 м?
4. По поверхности воды в озере волна распространяется со скоростью $60 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. Каковы период и частота колебаний бакена на озере, если длина волны 3 м?

§ 43. Звуковые волны. Скорость звука

- ✓ Какие колебания называют звуковыми?
- ✓ Что называют длиной волны?
- ✓ Что называют скоростью?

1. Мы знаем, что волновое движение — это распространение колебаний в среде. Если же колебания совершаются со звуковой частотой, то в среде образуются и распространяются **звуковые волны**, которые воспринимаются ухом человека.

2*. Рассмотрим строение уха человека (рис. 128). Оно делится на три части: наружное (I), среднее (II) и внутреннее ухо (III). Звуковые волны через ушную раковину (1) по слуховому каналу (2) наружного уха попадают на барабанную перепонку (3) и приводят её в колебательное движение. Эти колебания с помощью трёх косточек — молоточка (4), наковальни (5) и стремечка (6), находящихся в среднем ухе, передаются во внутреннее ухо. Внутреннее ухо является самой существенной частью органа слуха, его назначение — воспринимать только те колебания, которые посылает барабанная перепонка. Оно состоит из трёх полукружных каналов (7) и улитки (8). В улитке находится перепонка — основная мембрана; на ней расположены разветвления слухового нерва — 23 500 мельчайших волокон, которые проводят слуховое раздражение к коре головного мозга.

3. Звуковые волны распространяются не только в газах и в жидкостях, но и в твёрдых телах. Приложите одно ухо к краю стола, а другое прикройте ладонью. Попросите вашего соседа тихонько постучать карандашом по другому краю стола. Вы отчётливо услышите звук.

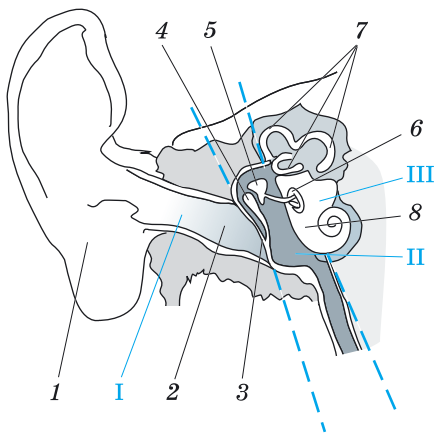


Рис. 128

4. Различные тела по-разному проводят звук. Мягкие и пористые тела плохо проводят звук. Их используют для звукоизоляции. Стены, пол, потолок прокладывают стекловатными и древесно-волоконистыми плитами. В них звуковые волны плохо распространяются. Хорошим звукоизолятором является линолеум на войлочной основе.

Хорошо проводят звуки металлы, жидкости. Нырнув в воду, можно отчётливо слышать шум перекачивающейся во время приёма гальки, звук работающего двигателя моторной лодки.

5. Звук, как и другие волны, имеет определённую скорость распространения. Это хорошо подтверждает тот факт, что звук грома мы слышим через некоторое время после того, как увидим молнию.

Зная расстояние s от источника звука до приёмника и время его распространения t , скорость звука v вычислим по формуле

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

6. Скорость звука неодинакова в различных средах. Так, в железе она больше, чем в воде, а в воде больше, чем в воздухе (табл. 24).

Таблица 24

Скорость звука в различных средах (при температуре 0 °С)

<i>Среда</i>	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Воздух	332
Пробка	430—530
Вода	1450
Медь	3800
Еловая древесина	4800
Стекло	5600
Железо	5850

7. Скорость звука зависит от температуры. Например, скорость звука в воздухе при 0 °С равна $332 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. При повышении температуры она возрастает: при 15 °С скорость звука в воздухе равна $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, при 100 °С — $387 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Вопросы для самопроверки

1. Приведите примеры хороших и плохих проводников звука.
2. Как вычислить скорость звука?
- 3*. Почему молнию мы видим раньше, чем слышим звук?
- 4*. Почему скорость звука неодинакова в различных средах?

Задание 33

1. Во сколько раз скорость звука в стекле больше, чем в меди?
2. Представьте значения скорости звука в воде, меди и железе в виде столбчатой диаграммы.
3. Чему равна скорость звука в воздухе, если расстояние от источника до приёмника, равное 1 км, звук проходит за 3 с?

§ 44. Громкость и высота звука

- ✓ Какие источники звука вам известны?
- ✓ Что называют амплитудой и частотой колебаний?

1. Звуки обладают определёнными свойствами, для характеристики которых вводятся специальные величины. Рассмотрим их.

Вы хорошо знаете, что звуки бывают менее громкие и более громкие.

Громкость — одна из характеристик звука. От чего зависит громкость? Чем она определяется?

Установим на столе два одинаковых камертона и поместим около них бусинки, подвешенные на нитях одинаковой длины, так, чтобы каждая из бусинок касалась ножки камертона. Ударим по камертонам молоточком с разной силой. Мы услышим, что камертон, по которому ударили сильнее, звучит громче. Кроме того, мы увидим, что бусинка, подвешенная рядом с этим камертоном, колеблется с большей амплитудой. Следовательно, камертон, звучащий громче, имеет большую амплитуду колебаний.

Зависимость громкости звука от амплитуды колебаний можно достаточно наглядно продемонстрировать с помощью следующего опыта. Возьмём камертон и к одной его ножке прикрепим перо или иглу (рис. 129). Приведём камертон в колебание и проведём пером по закопчённой стеклянной пластинке, которую будем перемещать перпендикулярно направлению смещения пера (перпендикулярно плоскости рисунка). Получим на ней запись колебаний камертона — график зависимости смещения от времени (рис. 130, а). По оси абсцисс отложено время колебаний, по оси ординат — смещение. Вы уже знаете, что смещение маятника от положения равновесия увеличивается от нуля до максимального значения, затем уменьшается до нуля, а затем опять

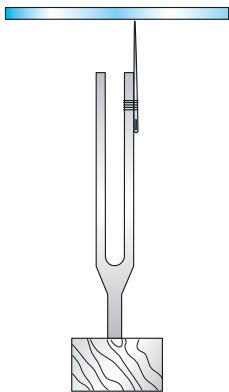


Рис. 129

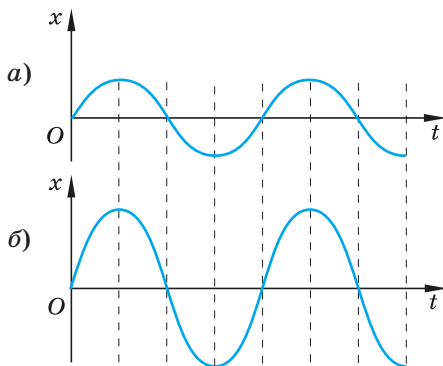


Рис. 130

увеличивается, но маятник при этом отклоняется в противоположную сторону. Это и отражает полученный график. Точка пересечения графика и оси t соответствует моменту прохождения маятником положения равновесия. Ударим по камертону сильнее и опять запишем его колебания (рис. 130, б). Увидим, что частоты колебаний в этих двух случаях одинаковы, а амплитуда колебаний во втором случае больше, чем в первом (см. рис. 130). Во втором случае мы слышали и более громкий звук.

Таким образом,

громкость звука зависит от амплитуды колебаний источника звука: чем больше амплитуда колебаний, тем громче звук; чем меньше амплитуда колебаний, тем громкость звука меньше.

2. Вы хорошо знаете, что звук, распространяясь в среде во все стороны от источника, ослабевает по мере удаления от него. Звук становится тише, т. е. громкость звука уменьшается, значит, и амплитуда колебаний частиц уменьшается при удалении от источника.

3. Ещё одной характеристикой является **высота звука**. Приведём в колебания два камертона разных размеров, ударив по ним молоточком с одинаковой силой. Один из них будет издавать более тонкий (звонкий) звук, а другой — более низкий звук. Говорят, что у этих звуков разная высота.

Прикрепим к ножкам этих камертонов иглу и запишем колебания на закопчённой пластинке. Камертон, который издавал

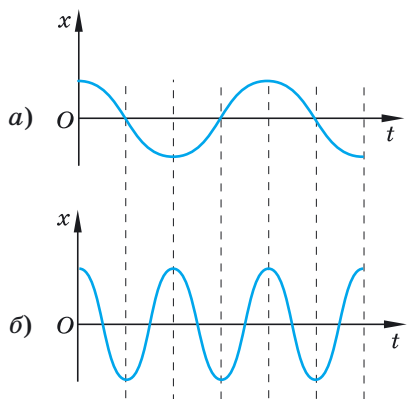


Рис. 131

более низкий звук, имеет частоту колебаний меньшую (рис. 131, а), чем тот, который издавал более высокий звук (рис. 131, б).

Таким образом,

высота звука определяется частотой колебаний: чем больше частота колебаний, тем выше звук; чем меньше частота колебаний, тем ниже звук.

Пределы частот для звуков человеческого голоса составляют 64 Гц (нижняя басовая нота) и 1300 Гц (верхняя сопрановая нота). Нижняя нота «ля» рояля имеет частоту 27,5 Гц, а верхняя нота «до» — 4096 Гц.

4*. Пусть звуки одной и той же частоты воспроизведены на скрипке, рояле, трубе, певцом. Эти звуки имеют одинаковую высоту, но отличаются друг от друга резкостью, выразительностью. Каждый звук имеет определённую «окраску». Это качество звука называют **тембром**.

Тембр обусловлен тем, что звук, как правило, состоит из ряда простых звуков. Звук камертона — простой, чистый, он имеет определённую частоту. Звук человеческого голоса, музыкальных инструментов — сложный, он содержит набор простых звуков, т. е. звуков разных частот.

Вопросы для самопроверки

1. Назовите характеристики звука.
2. Как связана громкость звука с амплитудой колебаний? Объясните свой ответ.
3. Как зависит высота звука от частоты колебаний? Как это можно показать на опыте?
- 4*. Что такое тембр звука?

Задание 34

Придумайте и осуществите опыт, доказывающий, что громкость звука зависит от амплитуды колебаний. Опишите установку для опыта и свои наблюдения.

Если вам нужна для опыта закопчённая стеклянная пластинка, подержите её над пламенем свечи. *Будьте осторожны!* 1. Свечу

укрепите, поместив её в стакан, а стакан поставьте в раковину. 2. Пластинку держите с помощью прищепки для белья. 3. Пластинку над пламенем свечи плавно перемещайте.

§ 45. Отражение звука

- ✓ Что называют звуковой волной?
- ✓ Что вы знаете об эхо?

1. Вы неоднократно встречались с таким явлением, как *эхо*. Особенно хорошо слышно эхо в лесу, в горах, в пустом помещении. Чтобы объяснить, как оно возникает, сделаем опыт с волнами на поверхности воды, используя волновую ванну. Возбудим волну и поставим на её пути преграду *AB* под некоторым углом к волне (рис. 132). Мы увидим, что волна дойдёт до преграды и изменит своё направление. Она отразится от преграды.

2. Отражаются от преграды и звуковые волны. Чтобы доказать это, сделаем опыт. Пусть источником звука служит громкоговоритель *Гр*, приёмником звука — микрофон *М* (рис. 133). Микрофон соединён со специальным прибором, позволяющим регистрировать звук. Если звук не попадает в микрофон, то стрелка прибора не отклоняется. Если же звук в микрофон попадает, то стрелка отклоняется; причём отклонение стрелки тем больше, чем громче звук.

Поставим громкоговоритель и микрофон на расстоянии 1 м под некоторым углом друг

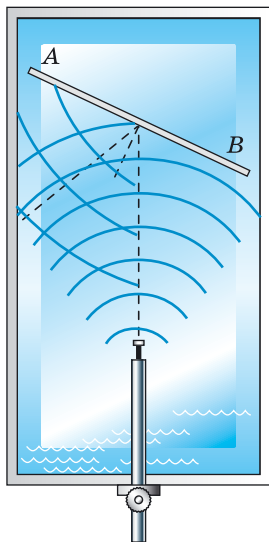


Рис. 132

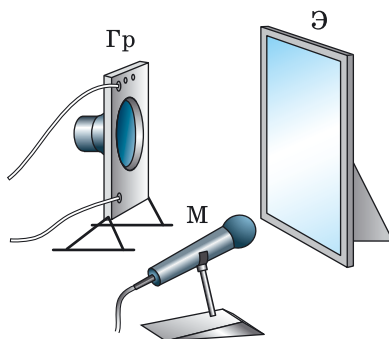


Рис. 133

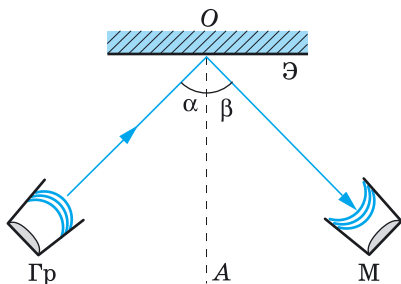


Рис. 134

к другу. Включим источник звука, стрелка прибора не отклонится. Если на пути звуковой волны поставить экран Э, то при некотором его положении прибор покажет, что звук попадает в микрофон.

3. Проведём линии, указывающие направление распространения звука от источника к экрану и от экрана к приёмнику (рис. 134): ОА — перпендикуляр к экрану, α —

угол падения звуковой волны, β — угол её отражения. Опыты показывают, что **угол отражения равен углу падения** ($\angle \alpha = \angle \beta$).

4. Отражение звуковых волн от преград является причиной эха. Предположим, что человек, стоящий у подножия горы, произнёс какой-либо звук. Этот звук отразится от поверхности горы и вернётся к человеку (рис. 135). Отражённый звук и есть эхо.

Если отражающих поверхностей много и находятся они на разных расстояниях от человека, то отражённые звуковые волны дойдут до него в разные моменты времени. В этом случае эхо будет многократным. Многократным отражением объясняются раскаты грома. Известен факт многократного эха, которое наблюдалось в замке, находящемся вблизи Милана: звук выстрела, произведённого из окна, повторялся эхом более 40 раз.

5. Явление отражения звука используют для определения рельефа дна, глубины водоёмов. Прибор, с помощью которого это делают, называют *эхолотом*.

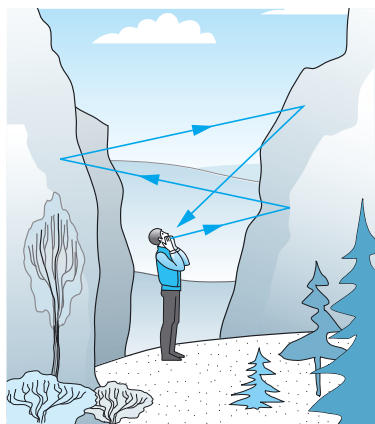


Рис. 135

Эхолот испускает ультразвуковой сигнал. Он доходит до дна водоёма, отражается, приходит обратно и регистрируется приёмником. Если известны скорость ультразвука и время между его посылкой и приёмом, то можно найти расстояние, на которое распространялся ультразвук.

6. Звук, падая на ту или иную поверхность, частично отражается от неё, а частично поглощается. Явле-

ния отражения и поглощения звука учитываются архитекторами при проектировании помещений, особенно театральных и концертных залов. Для них, в частности, важно, чтобы соблюдалось определённое соотношение между отражением и поглощением звука. Оно определяется объёмом помещения, его назначением и характером звука (музыка, речь). Если поглощение звука малó, то его многократное отражение сделает речь неразборчивой. Если же малó отражение, то музыка, речь не будут звучными, они станут глухими. Чтобы звук поглощался, стены и потолки залов покрываются звукопоглощающими материалами. Хорошими поглотителями звука являются мягкая мебель, драпировки, ковры.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое эхо? Объясните его возникновение.
2. Сравните углы падения и отражения звука.
3. Как учитывают явление отражения звука на практике? Приведите примеры.

Задание 35

1. На каком расстоянии от человека находится преграда, если посланный им звуковой сигнал был принят через 3 с? Скорость звука в воздухе $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
2. Через какое время будет слышно эхо, если преграда находится на расстоянии 85 м от человека? Скорость звука в воздухе $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Темы докладов и проектов

1. Звук вокруг нас.
2. Звук в живой природе.
3. Запись и воспроизведение звука.
4. Звуки музыкальных инструментов.
5. Способы записи колебаний.
6. Исследование распространения звука в разных средах.

2

Основное в главе

1. Источником звука является колеблющееся тело. Частота слышимых человеком звуковых колебаний лежит в интервале от 16 до 20 000 Гц. Величины, характеризующие колебательное движение (табл. 25).

Таблица 25

<i>Физическая величина</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Единица</i>	<i>Связь между величинами</i>
Смещение	x	м	
Амплитуда	A	м	
Частота	ν	Гц	$\nu = \frac{1}{T}$
Период	T	с	

2. Для распространения звука необходимо наличие среды. Процесс распространения звука в среде носит волновой характер. Основные характеристики волнового движения (табл. 26).

Таблица 26

<i>Физическая величина</i>	<i>Обозначение</i>	<i>Единица</i>	<i>Связь между величинами</i>
Длина волны	λ	м	$\lambda = \nu T$
Скорость волны (звука)	v	$\frac{\text{м}}{\text{с}}$	$v = \lambda \nu$ $v = \frac{s}{t}$

Скорость звука зависит от свойств среды. Длина звуковой волны определяется свойствами среды и частотой звуковых колебаний.

3. Связь между характеристиками звука и физическими величинами, с помощью которых описываются колебания (табл. 27).

Таблица 27

<i>Характеристика звука</i>	<i>Физическая величина</i>
Громкость	Амплитуда колебаний A
Высота	Частота колебаний ν
Тембр	Набор звуковых колебаний разных частот



Световые явления

В ясный солнечный день можно наблюдать много интересных явлений. Так, окружающие нас на улице тела дают тень, и от нашего тела также образуется тень. Подойдя к водной поверхности (луже, пруду), можем увидеть в ней своё отражение, отражения других находящихся рядом предметов. Эти явления относятся к световым явлениям.

В природе нас поражает разнообразие цветов: зелёные листья летом, коричневая земля, белые ромашки, голубые колокольчики, многоцветная радуга. Это тоже световые явления.

Вы сможете объяснить их после того, как изучите материал этой главы.

§ 46. Источники света

- ✓ Какие источники света вам известны?
- ✓ Наблюдали ли вы светящиеся в темноте тела?

1. Прежде всего задумаемся над вопросом: почему мы видим различные тела?

Вы знаете, что предметы хорошо видны днём и не видны ночью. Днём предметы видны, потому что они освещаются солнечным светом. Для того чтобы предметы увидеть ночью, необходимо, например, включить электрическую лампу. Таким образом, предметы видны при их освещении с помощью источника света.

Все тела, от которых исходит свет, называют источниками света.

2. Существуют разнообразные источники света. Одни из них — **тепловые** — излучают свет потому, что имеют высокую температуру. К таким источникам света относят Солнце, звёзды, пламя свечи, горящего дерева или газа, поток лавы, извергающейся из вулкана, нить электрической лампочки и др.

Например, лава, вытекающая из кратера при извержении вулкана, имеет температуру 1100—1200 °С, пламя газовой горелки — 1600—1850 °С, нить накала электролампы — 2500—2700 °С, а поверхность различных звёзд — 2000—100 000 °С.

Тела начинают излучать свет при температуре около 800 °С.

3. Другую группу составляют **люминесцирующие** источники света. Вы, очевидно, знаете, что в природе встречаются тела, которые сами излучают свет, но при этом остаются холодными (гнилушки, светлячки, некоторые морские животные). Излучение света такими источниками не зависит от их температуры.

Люминесценция может возникнуть при ударе. Например, при раскалывании куска сахара в темноте можно увидеть его свечение. Светится экран телевизора, монитор компьютера.

Люминесценция может сопровождать различные химические реакции. Например, гниение дерева, различных животных. В морях и океанах люминесцирует вода из-за наличия в ней светящихся микроорганизмов.

Люминесцирующими источниками являются люминесцентные и газосветные лампы.

Таким образом, тепловые и люминесцирующие источники сами излучают свет.

4. Многие тела, от которых исходит свет, сами его не излучают. Они светятся только тогда, когда на них попадает свет от некоторого источника. Например, ночью при ясной погоде мы различаем предметы, которые освещаются лунным светом. На поверхности моря, озера или реки можно ночью наблюдать «лунные дорожки».

Поскольку температура Луны меньше 800 °С, сама она видимый свет не излучает. Луна отражает свет, падающий на неё от Солнца, и является источником **отражённого** света.

К подобным источникам относятся планеты Солнечной системы, их спутники, искусственные спутники Земли. Земной шар при наблюдении из космоса выглядит цветным светящимся дис-

ком. Но поверхность Земли не раскалена, она отражает солнечный свет.

5. Солнце, а также рассмотренные выше источники отражённого света создают *естественное* освещение. Но эти источники не могут обеспечить потребности человека в свете.

Поэтому ещё первобытные люди применяли для освещения *искусственные* источники света. До середины XIX в. такими источниками являлись факел, пламя лучины, свечи, газовой горелки, керосиновой лампы. Эти источники имели малую мощность и были неудобными в обращении.

В 70-х гг. XIX в. в России были изобретены электрические лампы. Русский электротехник **Александр Николаевич Лодыгин** (1847—1923) сконструировал лампу накаливания, похожую на современные лампы. Он укрепил между двумя медными проводниками угольный стержень и поместил его внутрь стеклянного баллона, из которого был откачан воздух (рис. 136). При прохождении электрического тока по стержню он раскалялся и начинал светиться. Впоследствии угольный стержень был заменён вольфрамовой нитью. Современный вид лампе накаливания (рис. 137, а), включая вольфрамовую нить и патрон, придал американский изобретатель **Томас Эдисон** (1847—1931).

Сегодня для освещения помещений используются более экономичные люминесцентные лампы, или лампы дневного света (рис. 137, б), а также энергосберегающие лампы (рис. 137, в).

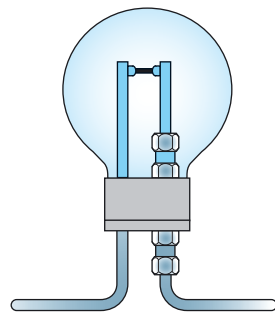


Рис. 136

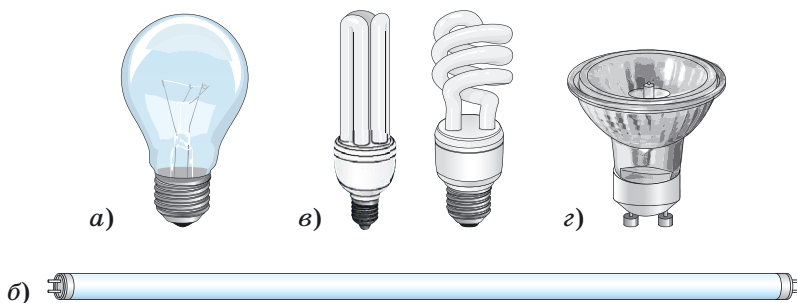


Рис. 137

В проекторах, в автомобильных фарах и т. п. используются так называемые галогенные лампы (рис. 137, з).

Вопросы для самопроверки

1. Какие источники света называют тепловыми? Приведите примеры.
2. Какие источники света называют люминесцирующими? Приведите примеры.
3. Приведите примеры естественных и искусственных источников света.

Задание 36

1. Заполните таблицу 28, используя примеры, приведённые в § 46. Приведите также свои примеры.

Таблица 28

<i>Тип источника света</i>	<i>Примеры</i>

- 2_д. Подготовьте сообщение на тему «Из истории искусственного освещения», используя различные источники информации, в том числе Интернет.

§ 47. Прямолинейное распространение света

✓ Наблюдали ли вы солнечные лучи? Каким образом?

1. Выясним, как распространяется свет. Почему мы не видим предметы, находящиеся за углом здания, за деревом, за другим препятствием? Почему мы не видим источник света, если перед ним поставить непрозрачный предмет?

Для ответа на эти вопросы проведём следующий опыт. Расположим на столе источник света, 2—4 экрана с отверстиями и непрозрачный экран так, чтобы на непрозрачном экране появи-

лось светлое пятно. Это возможно в том случае, если свет пройдёт через отверстия во всех экранах (рис. 138). Если затем к отверстиям приложить линейку, то можно заметить, что они лежат на одной прямой. Если один из экранов с отверстием сместить, то светлое пятно исчезнет. В этом случае отверстия не будут лежать на одной прямой.

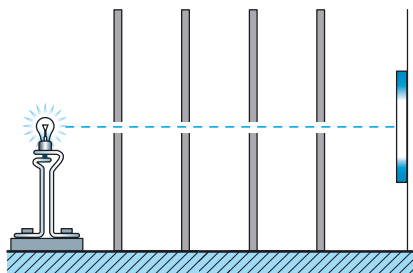


Рис. 138

Данный опыт свидетельствует о том, что свет распространяется вдоль прямой линии, т. е. *прямолинейно*.

Прямолинейное распространение света можно наблюдать летним днём в затемнённой комнате. Вы наверняка видели, как через отверстия в шторах проникают в комнату солнечные лучи.

Таким образом можно сделать вывод, что **свет распространяется прямолинейно**. Это верно для однородной среды, состоящей из одного и того же вещества, например воздуха, стекла, воды. Если свет падает, например, из воздуха в воду, то на границе раздела этих сред он изменит направление распространения.

Теперь понятно, почему за непрозрачным предметом, поставленным перед электрической лампой, темно: свет не проникает за него.

2*. Однако следует отметить, что это справедливо не всегда. Если перед источником света (S) поместить нить (Н) или волос, т. е. преграду очень малых размеров (рис. 139, а), то за неё свет будет проникать. На экране Э, поставленном за нитью, можно увидеть чередование тёмных и светлых полос (рис. 139, б). Таким образом, свет в определённых условиях отклоняется от прямолинейного распространения.

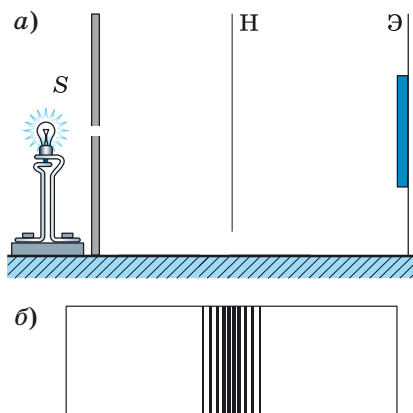


Рис. 139

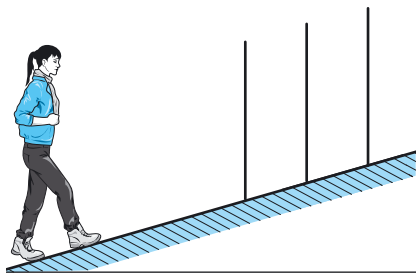


Рис. 140

3. Тот факт, что свет распространяется прямолинейно, был установлен ещё в древности. Об этом писал основатель геометрии древнегреческий учёный **Евклид** (III в. до н. э.) за 300 лет до нашей эры. Закон прямолинейного распространения света является одним из первых законов природы, открытых учёными на основе результатов наблюдений.

4. Явление прямолинейного распространения света широко используется на практике. Оно позволяет устанавливать прямолинейные границы участков на поверхности Земли, прокладывать линии железных дорог, автострады, взлётные полосы на аэродромах и т. п. Если поставить шесты так, чтобы, глядя на крайний из них, остальные не были видны, и соединить линией основания шестов, то этой линией будет прямая (рис. 140).

Вопросы для самопроверки

1. Как распространяется свет в однородной среде?
2. Можно ли увидеть свет за непрозрачной преградой, поставленной около лампочки?

Задание 37

1. Проведите дома опыт, доказывающий, что свет распространяется прямолинейно. Опишите опыт.
2. Как, используя прямолинейность распространения света, поставить три столбика по прямой линии?

Лабораторная работа № 11

Наблюдение прямолинейного распространения света

Цель работы:

убедиться на опыте, что свет распространяется прямолинейно.

Приборы и материалы:

иголки или булавки (5 штук), лист картона, линейка, карандаш.

Порядок выполнения работы

1. Положите на стол лист картона. Воткните в него вертикально две булавки на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга.
2. Между этими булавками воткните ещё 2—3 так, чтобы из-за ближней к глазу булавки не были видны остальные.
3. Выньте булавки. Приложите линейку к следам от двух крайних булавок и проведите прямую.
4. Определите, как расположены следы от других булавок по отношению к проведённой прямой.
5. Сделайте вывод.

§ 48. Световой пучок и световой луч

- ✓ Как распространяется свет от лампы накаливания?
- ✓ Зачем светильники обычно имеют абажур?

1. Введём некоторые понятия, которыми будем пользоваться при изучении световых явлений. Для этого продelaем опыт: подключим к источнику тока лампочку на специальной подставке. Свет от лампочки будет распространяться по всем направлениям (рис. 141, а).

Если теперь включить карманный фонарь, то его корпус будет ограничивать световой поток и выделит **световой пучок** (рис. 141, б).

Пучок света был выделен и в опыте по прямолинейному распространению света, описанном в § 47. С этой целью перед источником был поставлен экран с отверстием. С помощью этого отверстия и был получен световой пучок (рис. 141, в).

Вы наверняка наблюдали пучки солнечного света, пробивающиеся сквозь облака, световые пучки от прожектора, проектора, киноаппарата.

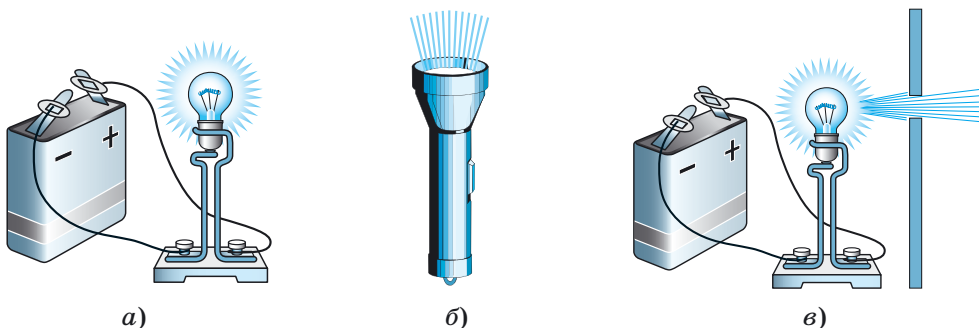


Рис. 141

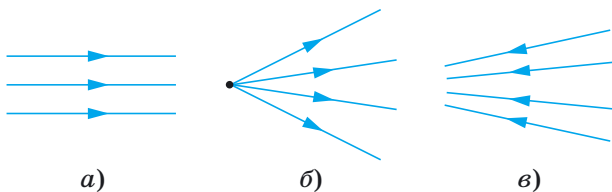


Рис. 142

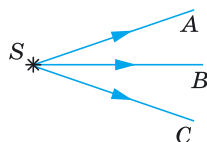


Рис. 143

2. Пучки света на чертежах и рисунках изображают с помощью световых лучей.

Световой луч — это линия, указывающая направление распространения света.

В реальности имеют дело с пучками света, а световой луч показывает направление распространения света и используется для изображения световых пучков.

3. Световые пучки можно выделить с помощью малых отверстий в непрозрачных пластинах, называемых диафрагмами. Они позволяют получать пучки разных размеров и форм.

Пучок света может быть параллельным (рис. 142, а), расходящимся (рис. 142, б) и сходящимся (рис. 142, в).

Световой пучок от источника света можно изобразить с помощью двух лучей SA и SC, ограничивающих его, или с помощью центрального луча SB (рис. 143).

Если нас интересует направление распространения света, то световой пучок изображают с помощью центрального луча. Если же важно показать форму светового пучка, то его изображают с помощью двух лучей, которые его ограничивают.

При изучении многих световых явлений с помощью оптических приборов пользуются световыми пучками, которые расходятся незначительно. Их считают пучками параллельных лучей. Такими пучками являются, например, падающий на Землю солнечный свет и свет от звёзд, находящихся на больших расстояниях от Земли.

4. Рассмотрим, как ведут себя световые пучки от двух источников. Возьмём два диапроектора с диапозитивами и два экрана. Поставим диапроекторы так, чтобы световые пучки от них в каком-то месте пересекались, а затем попадали на экраны (рис. 144).

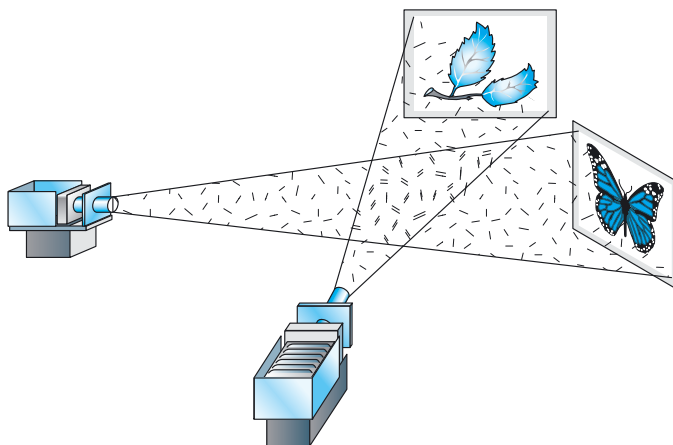


Рис. 144

На каждом экране получится изображение диапозитива такое же, какое было бы в отсутствие другого диапроектора. Это означает, что световые пучки от разных источников не зависят друг от друга и не влияют друг на друга.

Это свойство называют *независимостью световых пучков*.

Вопросы для самопроверки

1. Как можно выделить световой пучок?
2. Как изображают световые пучки на чертежах?
3. Что такое световой луч?
4. Что существует реально — световой пучок или световой луч?
5. В чём состоит свойство независимости световых пучков? Поясните на примере.

Задание 38

1. Начертите световые пучки, образованные отверстиями в непрозрачном шаре, в центре которого находится источник света S (рис. 145).
2. Придумайте и проделайте дома опыт, доказывающий независимость световых пучков.

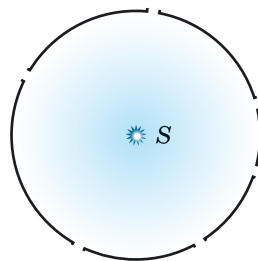


Рис. 145

§ 49. Образование тени и полутени

- ✓ Чем отличается световой луч от светового пучка?
- ✓ Когда наблюдается образование тени?

1. Все рассмотренные ранее источники света (Солнце, пламя свечи, лампа накаливания) имеют определённые размеры. Однако при изучении многих световых явлений размерами источника пренебрегают и принимают его за светящуюся точку. В этом случае говорят о точечном источнике света.

Точечный источник света — это такой источник, размеры которого малы по сравнению с расстоянием от него до наблюдателя.

Например, гигантские звёзды, размеры которых во много раз больше размеров Солнца, можно считать точечными источниками. Их размеры ничтожно малы по сравнению с расстояниями до них.

2. Вам неоднократно приходилось наблюдать в солнечный день тени от различных предметов. Выясним, как и почему образуется тень. Прделаем опыт. Поместим между источником света S и экраном $\mathcal{E}$ какой-либо предмет, например мяч (рис. 146, *а*). Пусть расстояние между источником и мячом существенно больше размеров источника. В этом случае источник можно считать точечным. На экране мы увидим резкую тень от мяча.

Тень — это область пространства за предметом, в которую не попадает свет от источника.

3. Теперь возьмём протяжённый источник света, размерами которого уже нельзя пренебречь (рис. 146, *б*). Можно оставить тот же источник, но подвинуть мяч ближе к нему. Протяжённый источник имеет определённые размеры S_1S_2 , и каждая его часть испускает пучок света. Эти пучки попадают на пред-

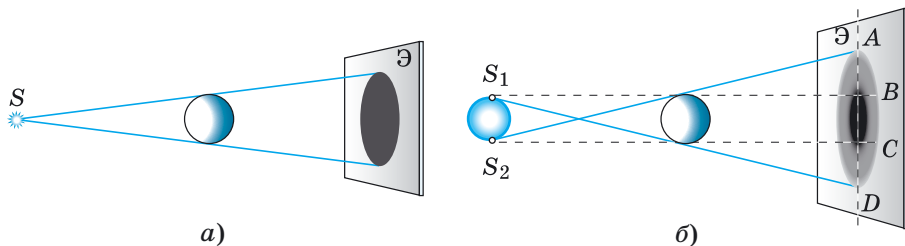


Рис. 146

мет, и на экране вокруг области тени (BC) образуются и частично освещённые пространства — области **полутени** (AB и CD).

Полутень — это область, в которую попадает свет от части источника света.

Итак, при освещении предмета светом от точечного источника образуется резкая тень. Если источник протяжённый, то образуются области тени и полутени.

Образование тени и полутени является следствием прямолинейного распространения света.

4. Зная, как образуется тень, можно объяснить такие явления, как затмения Солнца и Луны. Выясним сначала причину солнечного затмения.

При движении вокруг Земли Луна может оказаться между Солнцем и Землёй (рис. 147, *а*). В этом случае тень и полутень Луны попадает на Землю, и наступает солнечное затмение. Размер лунной тени на поверхности Земли не является постоянной величиной и в среднем составляет 250 км в диаметре, полутень же в среднем может достигать в размерах диаметра Луны. Поскольку диаметр Земли равен 12 700 км, солнечное затмение видно не из всех точек земной поверхности, а только из тех мест, на которые попадает тень или полутень Луны.

На территориях Земли, находящихся в области тени Луны, наблюдается *полное солнечное затмение*, а в области полутени — *частное солнечное затмение*. В остальных точках поверхности Земли затмение наблюдаться не будет.

5. Рассмотрим, как происходит лунное затмение. Земля при своём движении вокруг Солнца может оказаться между Солнцем и Луной (рис. 147, *б*). В этом случае Луна попадает в область тени или полутени Земли, и наступает лунное затмение. Если Луна находится в конусе полной тени Земли, то наблюдается полное лунное затмение. Если Луна попадает в область полутени Земли, то затмение — частное.

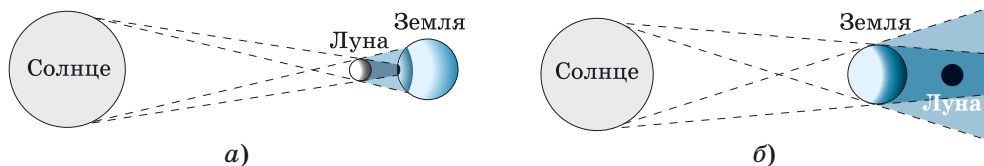


Рис. 147

Вопросы для самопроверки

1. Какой источник называют точечным? Поясните на примере.
2. В каком случае образуется резкая тень от предмета?
3. Что такое полутень?
4. В каком случае наблюдают тень и полутень от предмета?
5. Как происходит солнечное затмение?
6. Как происходит лунное затмение?

Задание 39

1. Докажите, что образование тени является следствием прямолинейного распространения света.
- 2*. Почему предметы, находящиеся в вестибюле станции метрополитена, не дают тени?
- 3*. Что нужно сделать, чтобы во время операции тень от рук хирурга не закрывала место операции?
- 4_э. Проведите дома эксперимент. Расположите включённую настольную лампу на расстоянии 1 м от стены. Поместите в световой пучок какой-либо предмет. Изменяя расстояние от предмета до лампы, наблюдайте даваемую предметом тень. Опишите свои наблюдения.
- 5_д. Подготовьте сообщение о солнечных затмениях последних лет, используя различные источники информации, в том числе Интернет.
- 6_д. Подготовьте сообщение о солнечных часах, используя различные источники информации, в том числе Интернет.

§ 50. Отражение света

- ✓ Что такое эхо?
- ✓ Вспомните закон отражения звука.

1. Вы, конечно, не раз наблюдали своё изображение и изображения других предметов в зеркале. Как оно получается? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим, что происходит с пучком света при падении на какой-либо предмет.

Пусть световой пучок распространяется в воздухе и падает на поверхность воды (рис. 148). Многочисленные опыты показывают, что на границе раздела этих сред свет изменит своё направление. При этом часть светового пучка пройдёт в воду, другая часть

пучка отразится от границы раздела воздуха и воды и будет распространяться в воздухе. Частично световой пучок поглотится водой.

Отражение света подобно отражению мяча от стенки. Если бросить мяч перпендикулярно стенке, то он отразится и полетит обратно по той же прямой (рис. 149, а). Если мяч бросить под некоторым углом к стенке, то он отскочит под тем же углом (рис. 149, б).

2. Рассмотрим более подробно явление отражения света. Введём обозначения. На рисунке 148 показаны: OC — перпендикуляр к границе раздела двух сред, луч AO — **падающий луч**, луч OB — **отражённый луч**, угол AOC — **угол падения α** , угол COB — **угол отражения β** .

Явление отражения света удобно наблюдать на приборе — оптическая шайба (рис. 150).

Прибор представляет собой диск, к которому прикреплены источник света и диафрагма, выделяющая узкий пучок света.

По краям диска нанесены деления, соответствующие значениям углов. Источник света может перемещаться по диску, что позволяет изменять угол падения света. В центре диска укреплено зеркало, от которого отражается свет. Будем изменять угол падения и измерять угол отражения света. В результате установим, что если угол падения 10° , то и угол отражения 10° ; если угол падения 20° , то и угол отражения 20° и т. д. Дальнейшее изменение угла падения приводит к подобным же результатам.

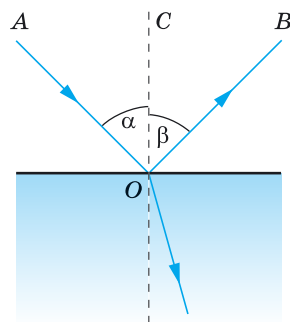


Рис. 148

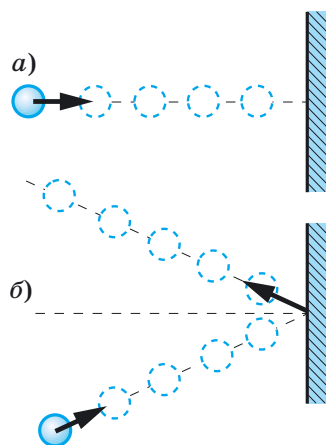


Рис. 149

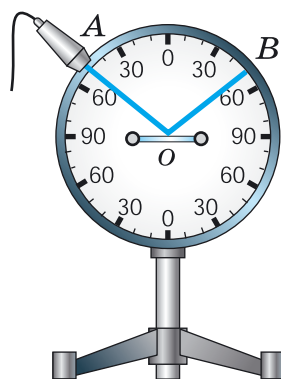


Рис. 150

Таким образом, опыт показывает, что
угол отражения света равен углу падения,
т. е. $\angle\alpha = \angle\beta$, а также что

падающий луч, отражённый луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.

В этом состоит **закон отражения света**. Он, как и другие физические законы, выражает устойчивую, повторяющуюся связь между физическими величинами, в данном случае между углом падения и углом отражения света.

3. Из закона отражения света следует, что падающий и отражённый лучи **обратимы**. Если световой пучок падает на зеркало в направлении AO , то отражаться он будет в направлении OB (см. рис. 150); если же свет будет падать на зеркало в направлении BO , то отражённым будет луч OA .

4. Если параллельный пучок света падает на гладкую плоскую поверхность, например на плоское зеркало, то отражённый пучок тоже будет параллельным (рис. 151, а). Лучи имеют одинаковое направление. Такое отражение называют **зеркальным**.

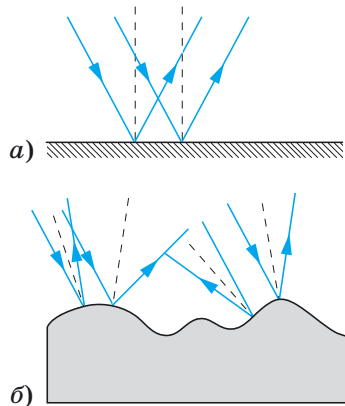


Рис. 151

Если параллельный пучок света падает на шероховатую поверхность, то отражённый пучок уже не будет параллельным (рис. 151, б). Лучи будут направлены в разные стороны. Говорят, что отражение света от шероховатой поверхности **диффузное**. По-другому можно сказать, что поверхность рассеивает падающий на неё свет.

В жизни с диффузным отражением света человек встречается чаще, чем с зеркальным. Именно благодаря диффузному отражению света мы видим окружающие предметы.

Вопросы для самопроверки

1. Что происходит с пучком света при падении на границу раздела двух сред?
2. Сформулируйте закон отражения света.
3. Чем зеркальное отражение света отличается от диффузного?

Задание 40

1. Угол падения луча света равен 30° . Начертите падающий и отражённый лучи. Обозначьте углы падения и отражения. Чему равен угол отражения? Чему равен угол между падающим и отражённым лучами?
2. При каком угле падения падающий и отражённый лучи света составляют прямой угол?
3. При каком угле падения света падающий и отражённый лучи совпадают?
4. Почему плафоны светильников обычно делают матовыми?

Лабораторная работа № 12

Изучение явления отражения света

Цель работы:

проверить на опыте закон отражения света.

Приборы и материалы:

плоское зеркало на бруске, чертёжный угольник, транспортир, три булавки, кнопки, лист картона, лист писчей бумаги.

Порядок выполнения работы

1. Прикрепите кнопками к картону лист писчей бумаги. Поставьте на него зеркало 3 (рис. 152).
2. Воткните в бумагу булавки 1 и 2, как показано на рисунке 152. Изображения этих булавок можно увидеть в зеркале.
3. Воткните булавку 3 так, чтобы она и изображения булавок 1 и 2 лежали на одной прямой.
4. Прочертите на бумаге линию вдоль зеркала, уберите его. Выньте булавки 1 и 2. Проведите через следы булавок линию до пересечения с зеркалом 3, отметьте точку O . Полученная прямая — падающий луч.
5. Выньте булавку 3 и соедините след от неё с точкой O . Полученная прямая — отражённый луч.
6. Проведите из точки O перпендикуляр к зеркалу. Измерьте углы падения и отражения.
7. Изменив положение булавок 1 и 2, повторите опыт.
8. Сделайте вывод.

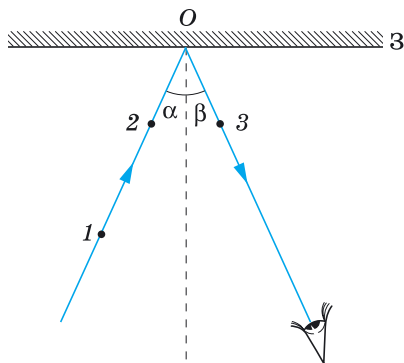


Рис. 152

§ 51. Изображение предмета в плоском зеркале

- ✓ Наблюдали ли вы явление отражения света?
- ✓ Вспомните закон отражения света.

1. Пользуясь законом отражения света, можно построить изображение предмета в плоском зеркале.

Для этого проделаем опыт. Поставим вертикально стеклянную пластину OO' , которая заменяет в данном опыте зеркало (рис. 153). Расположим перед пластиной карандаш AB . В стекле увидим изображение карандаша $A'B'$. Возьмём другой такой же карандаш и поставим его за стеклом. Будем передвигать этот карандаш до тех пор, пока он не совпадёт с изображением первого карандаша.

Отметим положения карандашей и стекла, измерим расстояния между каждым карандашом и стеклом.

Из проделанного опыта можно сделать следующие выводы:

- 1) плоское зеркало даёт прямое (не перевёрнутое) изображение предмета;
- 2) изображение предмета имеет те же размеры, что и предмет;
- 3) расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от зеркала до изображения.

Говорят, что *предмет и его изображение симметричны относительно зеркала*.

2. Рассмотрим, как получается изображение предмета в плоском зеркале. Пусть перед зеркалом находится источник света S (рис. 154). Из множества лучей выделим два SA и SB , падающих на зеркало. Пользуясь законом отражения света, построим отражённые лучи AA' и BB' . Пучок света, ограничен-

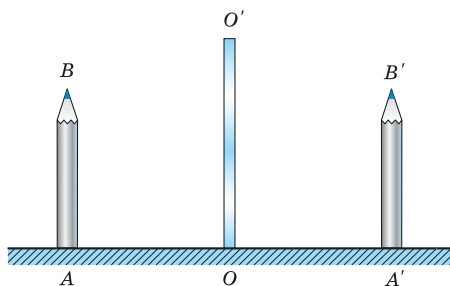


Рис. 153

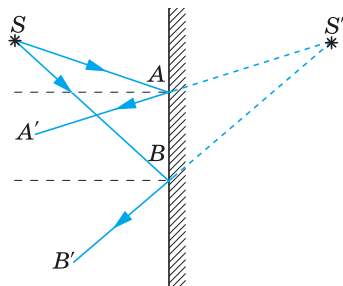


Рис. 154

ный этими лучами, будет расходящимся. Этот пучок и попадает в глаз наблюдателя.

Если продолжить отражённые лучи за плоскость зеркала, то они пересекутся в точке S' . Глаз воспринимает отражённые лучи так, как будто они исходят из точки S' , которая является изображением точки S .

Итак, в точке S' сходятся не сами лучи света, а их продолжения. Свет в эту точку не поступает. Такое изображение называют **мнимым**.

Следовательно, **плоское зеркало даёт мнимое изображение предмета**.

3. Выполняя построение изображения предмета в зеркале, вы могли убедиться в том, что оно изменяет ход лучей. Это даёт возможность «управлять» ходом лучей с помощью зеркала.

Пусть на зеркало $O'O$ падает световой луч AO (рис. 155), тогда отражённый луч — OA' . Поворачивая зеркало на тот или иной угол, можно определённым образом направить отражённый световой луч. Если луч AO падает на зеркало в положении $O''O$, то отражённым будет луч OA'' . Свойство отражения света используется в световой сигнализации.

4. Плоское зеркало используется в *перископе*. Этот прибор устанавливают, например, на подводных лодках. Он позволяет с лодки, находящейся под водой, увидеть, что происходит на поверхности воды.

Перископ представляет собой трубу, состоящую из трёх секций: двух горизонтальных и одной вертикальной (рис. 156). В местах соединения горизонтальных и вертикальной секций

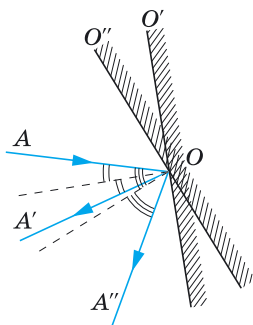


Рис. 155

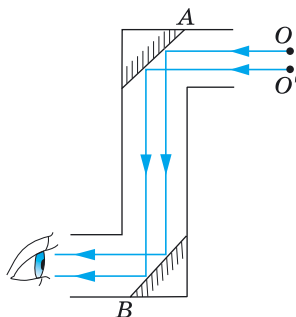


Рис. 156

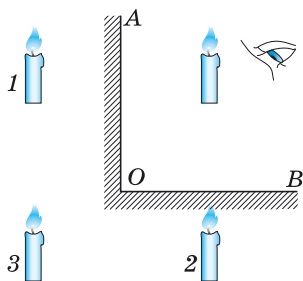


Рис. 157

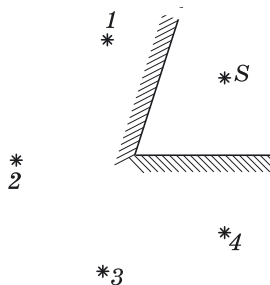


Рис. 158

расположены зеркала A и B . Зеркала взаимно параллельны и составляют угол 45° с горизонталью.

Пусть на зеркало A падают горизонтальные лучи света от предмета OO' . После отражения от него лучи изменяют своё направление на вертикальное и попадут на зеркало B . После отражения в зеркале B лучи света изменяют направление на 90° и попадут в глаз наблюдателя. Наблюдатель увидит предмет OO' .

5*. Вы наверняка попадали в комнату, в которой было несколько зеркал. В каждом из них вы можете увидеть своё изображение, и не одно. Рассмотрим, как они получаются.

Пусть два зеркала расположены под углом 90° друг к другу (рис. 157). Мы увидим три изображения (1, 2, 3) свечи, стоящей перед зеркалами.

Если, например, поставить зеркала под углом 72° , то в зеркалах увидим четыре изображения источника света S — по два изображения в каждом (рис. 158).

При уменьшении угла между зеркалами увеличивается число изображений. Чтобы в этом убедиться, надо взять два зеркала, поставить их под углом 90° друг к другу и положить между ними какой-нибудь рисунок, а затем уменьшать угол между зеркалами. Число изображений будет увеличиваться. Изображения рисунка получаются в виде узоров, орнаментов. Им присуща строгая симметрия.

Идея получения многократных изображений в зеркалах использована в *калейдоскопе*. Эта игрушка, вероятно, вам знакома. С помощью калейдоскопа составляют рисунки для тканей, ковров, обоев и т. д.

Вопросы для самопроверки

1. Охарактеризуйте изображение предмета, даваемое плоским зеркалом.
2. Какое изображение называют мнимым?

3. Приведите примеры применения плоского зеркала.
4. Объясните устройство перископа.
5. Приведите примеры применения перископа.

Задание 41

1. Используя геометрические построения, докажите, что в плоском зеркале:
 - размеры изображения равны размерам предмета;
 - расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от зеркала до изображения.
- 2_э. Изготовьте перископ.
3. Расстояние между предметом и плоским зеркалом равно 0,4 м. Чему равно расстояние между предметом и его изображением? На каком расстоянии от зеркала должен находиться предмет, если расстояние между ним и изображением 0,6 м?
4. Постройте изображение предмета AB в плоском зеркале $З$ (рис. 159).
- 5*. Пользуясь законом отражения света, постройте изображения, даваемые плоскими зеркалами, расположенными под углом 60° . Сколько изображений вы получите?
- 6_д. Подготовьте сообщение об устройстве калейдоскопа, используя различные источники информации, в том числе Интернет.

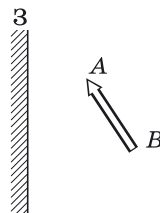


Рис. 159

§ 52*. Вогнутые зеркала и их применение

- ✓ Каков характер изображения предмета в плоском зеркале?
- ✓ Каково назначение телескопа?

1. Кроме плоских зеркал в практике часто используются зеркала, имеющие искривлённую поверхность. Таким зеркалом, например, является хорошо отполированная столовая ложка. Если смотреть в ложку, поворачивая её то выпуклой, то вогнутой стороной, можно увидеть своё изображение. Однако это изображение будет искажённым.

Выясним, как получается изображение в зеркале, имеющем искривлённую поверхность. Для простоты будем рассматривать **сферические зеркала**, т. е. такие, которые являются частью поверхности полого шара.

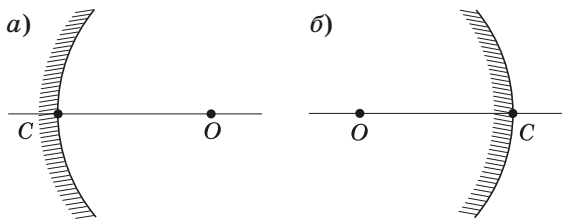


Рис. 160

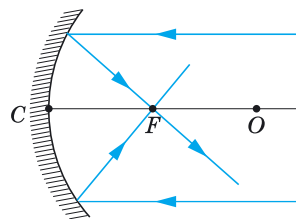


Рис. 161

Зеркало, изображённое на рисунке 160, а, — **вогнутое**; зеркальной у него является внутренняя вогнутая поверхность полого шара. Зеркало, изображённое на рисунке 160, б, — **выпуклое**; у него зеркальная — внешняя выпуклая поверхность полого шара. Точку C называют **полюсом зеркала**; точку O — **оптическим центром**; CO — **радиус зеркала**; прямая CO — **главная оптическая ось зеркала**.

2. Прделаем опыт, используя оптическую шайбу. В центре диска установим вогнутое зеркало. Направим на зеркало пучок света, параллельный главной оптической оси. Пучок света, отразившись от зеркала, сойдётся в точке F , лежащей на главной оптической оси (рис. 161). Эту точку называют **главным фокусом зеркала**. Если в точку пересечения отражённых лучей поставить лист бумаги, то на нём мы увидим яркое пятно. Это пятно является действительным изображением источника света. Расстояние FC называют **фокусным расстоянием зеркала**. Оно равно половине радиуса зеркала.

Если источник света расположить в фокусе зеркала, то отражённые лучи будут параллельны его главной оптической оси.

3. Вогнутые зеркала применяются тогда, когда возникает необходимость создать параллельный пучок света. В этом случае источник света, например лампочку, помещают в фокусе F зеркала (рис. 162), тогда отражённые от него лучи будут параллельными. Этот способ получения параллельных световых пучков используется в фарах автомобилей, прожекторах. Названные устройства позволяют освещать местность на довольно больших расстояниях. Поворачивая прожектор, можно менять направление светового пучка.

4. Вогнутое зеркало используют также в том случае, когда необходимо собрать (сфокусировать) падающий на зеркало

пучок параллельных лучей. В этом случае отражённые от зеркала лучи соберутся в его фокусе.

Это свойство вогнутого зеркала используется в *телескопе-рефлекторе*. Слово «рефлектор» значит «отражатель». Основной частью такого телескопа является вогнутое зеркало. *Телескоп* — это прибор, предназначенный для наблюдения удалённых предметов: планет, звёзд и т. п. Именно с помощью телескопов получают основные сведения о космических объектах.

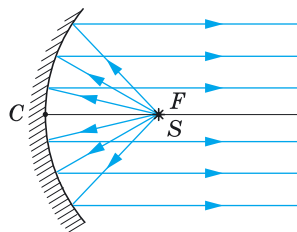
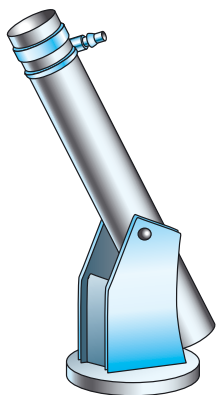


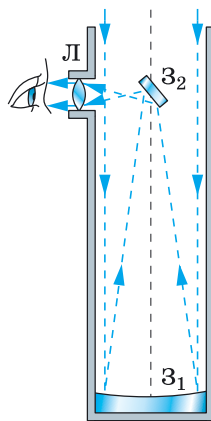
Рис. 162

5. Первый телескоп-рефлектор (рис. 163, а) был изобретён Ньютоном в 1669 г. Свет от далёкой звезды в виде пучка параллельных лучей (рис. 163, б) падает на вогнутое зеркало Z_1 в трубе телескопа. Отражаясь от этого зеркала, они сходятся в его фокусе. Плоское зеркало Z_2 , помещённое в этом месте телескопа, поворачивает лучи и направляет их в окуляр Л. Назван он так потому, что обращён к глазу (оку) наблюдателя. Окуляр представляет собой собирающую линзу. О том, как и почему линза собирает лучи, вы узнаете в дальнейшем.

При наблюдении сравнительно близких небесных тел телескоп-рефлектор даёт их увеличенное изображение. Например, планета Марс при наблюдении невооружённым глазом видится светящейся точкой. При наблюдении в телескоп её изобра-



а)



б)

Рис. 163

жение представляется диском, на котором видны отдельные детали.

Изображения звёзд, расположенных от нас очень далеко, в телескопе кажутся точками. Телескоп позволяет наблюдать слабо светящиеся звёзды (их движения, изменения светимости и т. п.), которые невооружённым глазом увидеть невозможно.

До начала 90-х гг. XX в. самым крупным зеркальным телескопом считался российский телескоп БТА, установленный на Северном Кавказе. Диаметр зеркала этого телескопа 6 м, фокусное расстояние 24 м. В 1992 и 1996 гг. вступили в строй два телескопа-рефлектора на Гавайях. Диаметр зеркал этих телескопов 10 м. Самый большой на сегодняшний день зеркальный телескоп Gran Telescopio Canarias с диаметром главного зеркала 10,4 м установлен в 2007 г. на Канарских островах.

Задание 42*

1. Приведите примеры применения вогнутых зеркал для получения параллельного пучка света.
2. Приведите примеры применения вогнутых зеркал для фокусирования пучка света.
- 3_д. Подготовьте сообщение об истории создания телескопа, используя различные источники информации, в том числе Интернет.

§ 53. Преломление света

- ✓ Какие явления происходят на границе раздела двух сред?
- ✓ Наблюдал ли вы изменение формы ложки при погружении её в стакан с водой? Что с ней происходит?

1. Вы уже знаете, что свет, падая на границу раздела двух сред, частично проходит во вторую среду и распространяется в ней. Рассмотрим это явление подробнее.

Возьмём стакан с водой, опустим в него карандаш так, чтобы он был расположен вертикально. Будем менять угол его наклона (рис. 164). Заметим, что на границе воды и воздуха карандаш кажется переломлённым. Это объясняется тем, что световой пучок при переходе из одной среды в другую изменяет направление распространения.

Изменение направления распространения света при переходе из одной среды в другую называют преломлением света.

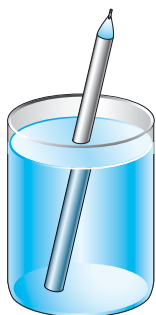


Рис. 164

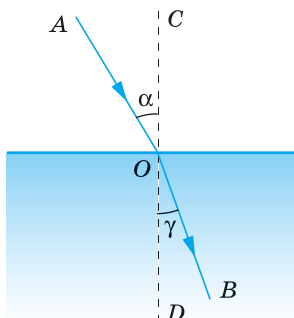


Рис. 165

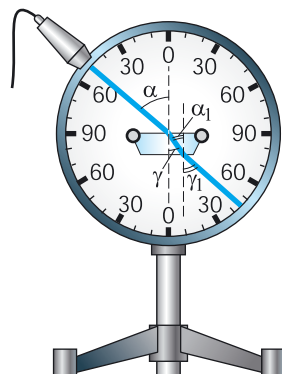


Рис. 166

Преломление света вы можете наблюдать, когда опускаете ложку в стакан с чаем, входите в воду в реке или в море.

Сделаем чертёж и введём обозначения. На рисунке 165 показаны: луч AO — **падающий луч**; луч OB — **преломлённый луч**; CD — перпендикуляр к границе раздела двух сред; угол AOC — **угол падения α** ; угол DOB — **угол преломления γ** .

2. Выясним, как соотносятся углы падения и преломления. Для этого в центре диска оптической шайбы установим стеклянную пластину (рис. 166). Заметим, что при изменении угла падения меняется и угол преломления: *чем больше угол падения, тем больше угол преломления*. Из опыта также следует, что при переходе луча света из воздуха в стекло угол преломления меньше угла падения. При переходе луча света из стекла в воздух угол преломления больше угла падения.

Различие углов падения и преломления обусловлено тем, что стекло и воздух имеют разную *оптическую плотность*.

Оптическая плотность среды характеризуется скоростью распространения света в ней.

Чем больше скорость распространения света, тем меньше оптическая плотность среды.

Скорость распространения света в стекле меньше, чем в воздухе. Следовательно, оптическая плотность стекла больше, чем оптическая плотность воздуха.

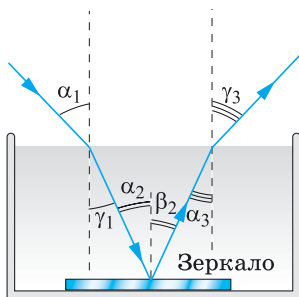


Рис. 167

3. Рассмотрим ещё один пример. СтеклЯнную ванну, на дне которой находится плоское зеркало, заполним водой, подкрашенной флюоресцирующей жидкостью. На поверхность воды под некоторым углом к ней направим пучок света (рис. 167). Он изменяет своё направление, поскольку вода — среда оптически более плотная, чем воздух. Из опыта видно, что при переходе света из воздуха в воду угол падения α_1 больше угла преломления γ_1 ,

а при переходе из воды в воздух угол падения α_3 меньше угла преломления γ_3 (углы α_2 и β_2 равны по закону отражения света).

Выводы, которые следуют из опытов, можно сформулировать в более общем виде:

если луч света переходит из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную, то угол преломления меньше угла падения ($\angle \gamma < \angle \alpha$);

если свет переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную, то угол преломления больше угла падения ($\angle \gamma > \angle \alpha$).

Лучи падающий и преломлённый, а также перпендикуляр, составленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости.

4. Опыты показывают, что при переходе света из одной среды в другую (из воздуха, например, в воду) его интенсивность уменьшается. Это связано с тем, что свет частично поглощается средой и частично отражается от границы раздела двух сред.

5*. Закон преломления света формулируется так:

синус угла падения так относится к синусу угла преломления, как скорость света в первой среде к скорости света во второй среде:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2},$$

где v_1 и v_2 — скорости света в первой и во второй средах соответственно.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют преломлением света?
2. Приведите примеры проявления преломления света.
3. Чем характеризуется оптическая плотность среды?
4. Сравните скорости распространения света в воде и воздухе и их оптические плотности.
5. Каково соотношение между углами падения и преломления?

Задание 43

1. Луч света падает на границу раздела двух сред (рис. 168). Назовите, какая из них воздух, а какая — вода.

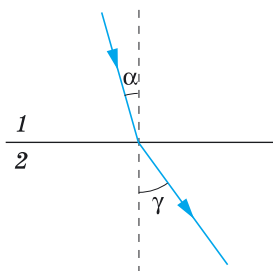


Рис. 168

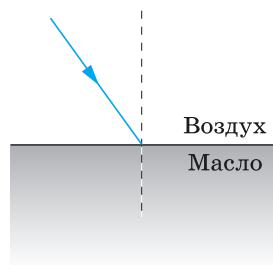


Рис. 169

2. Свет переходит из воздуха в масло, оптическая плотность которого больше, чем оптическая плотность воздуха (рис. 169). Начертите примерный ход преломлённого луча и отметьте углы падения и преломления.
3. Сравните оптические плотности граничащих сред в случаях, приведённых на рисунке 170.
4. Проведите опыт по преломлению света. Сделайте вывод.

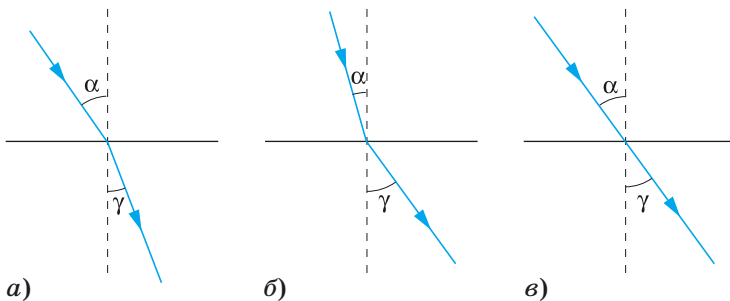


Рис. 170

Лабораторная работа № 13

Изучение явления преломления света

Цель работы:

исследовать зависимость угла преломления света от угла падения.

Приборы и материалы:

плоскопараллельная пластина со скошенными гранями, линейка, транспортир, лист миллиметровой (можно писчей) бумаги, лист картона, циркуль, четыре булавки, кнопки.

Порядок выполнения работы

1. Прикрепите кнопками лист миллиметровой бумаги к картону. Начертите циркулем окружность и проведите её горизонтальный диаметр (рис. 171).
2. Положите стеклянную пластину так, чтобы её большее основание совпало с этим диаметром. В центре окружности вертикально поставьте булавку 1. Булавку 2 установите в любой точке окружности над пластиной.
3. Поставьте булавку 3 по другую сторону пластины вплотную к ней так, чтобы все три булавки закрывали друг друга.
4. Поставьте булавку 4 на окружности под пластиной так, чтобы она находилась на той же прямой, что и первые три.
5. Выньте булавки, очертите контур пластины и снимите её с бумаги.
6. Проведите через следы булавок падающий луч, преломлённый луч, проходящий через пластину, и преломлённый луч, выходящий из пластины.
7. Изменяя угол падения, повторите опыт.
8. Измерьте углы падения и преломления. Результаты измерений занесите в таблицу 29.

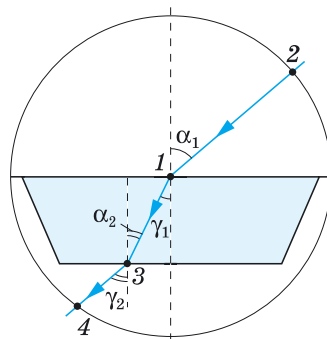


Рис. 171

Таблица 29

№ опыта	Переход света из воздуха в стекло		Переход света из стекла в воздух	
	Угол падения α_1	Угол преломления γ_1	Угол падения α_2	Угол преломления γ_2
1				
2				

9. Сделайте выводы: о зависимости угла преломления от угла падения; о соотношении между углами преломления и падения при переходе света из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную и из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную.

§ 54. Полное внутреннее отражение

- ✓ Вспомните закон отражения света.
- ✓ Как изменяется направление распространения света при переходе из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную?

1. Вы уже знаете, что при переходе луча света из прозрачной среды, оптически более плотной, в прозрачную среду, оптически менее плотную, угол падения меньше угла преломления. Выясним, что будет происходить при увеличении угла падения. Как показывает опыт, угол преломления тоже будет увеличиваться (рис. 172). При некотором значении угла падения угол преломления будет равен 90° , и свет не будет распространяться во второй среде. При дальнейшем увеличении угла падения свет, падающий на границу раздела воды и воздуха, полностью отразится от неё (рис. 173). Это явление называют **полным внутренним отражением**.

2. Угол падения, при котором наступает полное внутреннее отражение, называют **предельным углом полного внутреннего отражения**.

Для любой пары сред существует определённый предельный угол. Так, при переходе света из стекла в воздух этот угол равен приблизительно 40° .

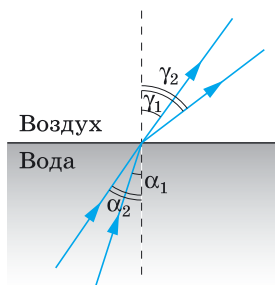


Рис. 172

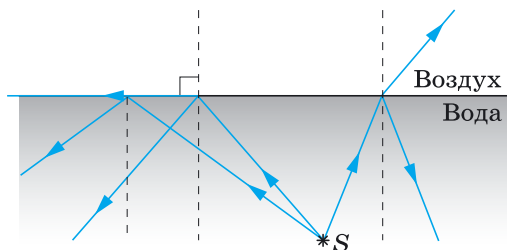


Рис. 173

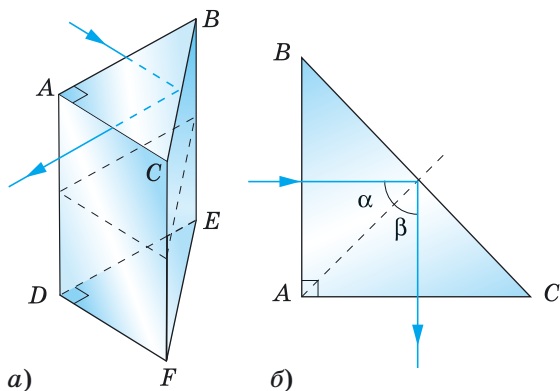


Рис. 174

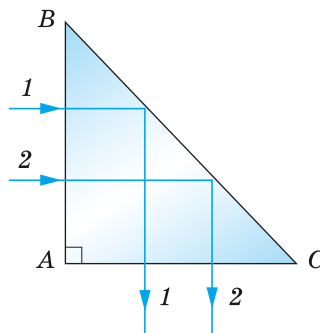


Рис. 175

3. Явление полного внутреннего отражения имеет широкое применение. Оно, в частности, используется в *призмах*, с помощью которых можно изменять направление световых лучей.

Пусть луч света падает на грань стеклянной призмы перпендикулярно этой грани (рис. 174, а). В основаниях призмы лежит равнобедренный прямоугольный треугольник (рис. 174, б) ($AB = AC$; $\angle BAC = 90^\circ$). Луч света войдёт в призму, не преломляясь, поскольку он перпендикулярен грани $ABED$, т. е. угол падения $\alpha = 90^\circ$. На грань $BCFE$ луч падает под углом $\alpha = 45^\circ$, который больше предельного угла. Поэтому луч отразится от грани $BCFE$ под углом $\beta = 45^\circ$ и выйдет из призмы через грань $ACFD$ (см. рис. 174, б).

Таким образом, призма изменила направление луча на 90° . Она «поворачивает» лучи (рис. 175). Такая призма используется в перископах. Использование призм в перископе предпочтительнее, чем зеркал. Это связано с тем, что поверхность зеркала в отличие от поверхностей призмы покрыта специальным веществом (амальгамой), отражающим свет, и подвержена порче.

4. Призма, сечение которой изображено на рисунке 176, «оборачивает» лучи, т. е. меняет их местами. Угол при вершине призмы равен 90° .

Пусть горизонтальные лучи 1 и 2 падают на грань AB . Угол падения равен 45° . Поскольку лучи переходят из воздуха в стекло, то угол преломления меньше 45° . Соответственно, угол падения лучей на грань BC внутри призмы больше 45° , т. е. больше пре-

дельного угла. Поэтому лучи преломляются не будут, а, отразившись от грани BC , попадут на грань AC . Угол падения лучей на грань AC меньше предельного угла, поэтому лучи преломятся и выйдут из призмы. При этом они будут параллельны лучам, падающим на призму.

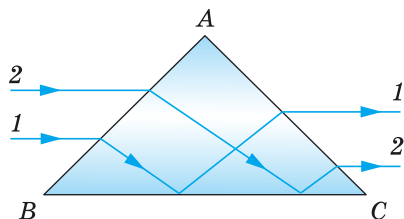


Рис. 176

На рисунке 176 хорошо видно, что при выходе из призмы лучи 1 и 2 меняются местами. Верхним лучом становится луч 1 , который был нижним, а луч 2 становится нижним. Такие призмы используются в оптических приборах, например в биноклях.

Вопросы для самопроверки

1. В чём заключается явление полного внутреннего отражения света?
2. Можно ли наблюдать полное внутреннее отражение света при переходе света из воздуха в воду? Почему?
3. Какой угол называют предельным углом полного внутреннего отражения?
4. Приведите примеры применения явления полного внутреннего отражения света.
5. Объясните, почему призма, сечение которой изображено на рисунке 176, «оборачивает» лучи.

Задание 44

1. Начертите ход лучей в перископе, в котором для поворота лучей используются призмы. Как должны быть расположены эти призмы?
2. Начертите ход лучей 1 и 2 в призме, сечением которой изображено на рисунке 177 ($AB = AC$, $\angle BAC = 90^\circ$). Объясните выполненное построение.
3. Чем отличается явление отражения света от явления полного внутреннего отражения?

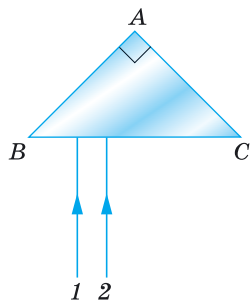


Рис. 177

§ 55*. Волоконная оптика

- ✓ Что называют полным внутренним отражением света?
- ✓ В каком случае наблюдается явление полного внутреннего отражения света?

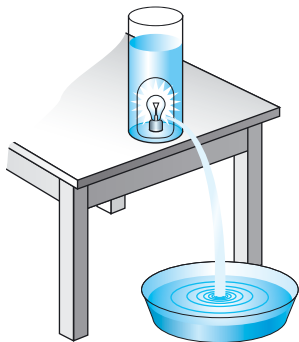


Рис. 178

1. Вы уже знаете, что полное внутреннее отражение света происходит в призмах, которые применяются в различных оптических приборах и устройствах для изменения направления хода лучей.

Рассмотрим ещё один пример применения этого явления. Вам, возможно, приходилось наблюдать фонтан в вечернее время, и вы видели, что струи фонтана освещаются изнутри.

Прделаем опыт. Установим на столе непрозрачный сосуд с небольшим круглым отверстием, расположенным близко к его основанию (рис. 178). Поместим в сосуд электрическую лампочку, плотно упакованную в целлофановый пакет, и заполним сосуд водой. Включим лампочку и откроем отверстие. Из сосуда будет вытекать струя воды, освещённая изнутри.

Объясним наблюдаемое явление. Дело в том, что в искривлённой струе воды возникает многократное отражение света (рис. 179). Это происходит потому, что угол падения светового пучка на границе раздела сред «вода» — «воздух» больше предельного угла полного внутреннего отражения. На этой границе отсутствует преломление, и свет почти не выходит из струи, а распространяется в основном внутри неё.

2. Такое явление возникает в изогнутых стеклянных стержнях. Чем тоньше стержень, тем большее число отражений света происходит в нём. Поверхность стержня должна быть чистой, а торцы тщательно отшлифованы, чтобы углы падения и углы

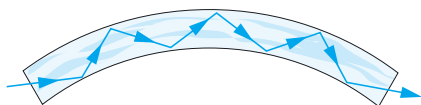


Рис. 179

отражения были одинаковыми для всего светового пучка. В этом случае свет, войдя в стержень с одного

конца, полностью выйдет из другого конца. Такой стержень называют **световодом**.

Обычно тонкие световоды (волокна) связывают в пучки по несколько сотен штук. Такие пучки используют в современных светильниках.

Световоды могут служить для передачи не только света, но и изображения предмета (рис. 180). Это позволяет использовать их в медицине. Световоды с миниатюрным осветителем вводят в желудок или в область сердца и осматривают эти органы.

Гибкость световода позволяет вводить его в труднодоступные места различных механизмов и обнаруживать любые малейшие дефекты.

Таким образом, явление полного внутреннего отражения лежит в основе современной технологии, которую называют **волоконной оптикой**.

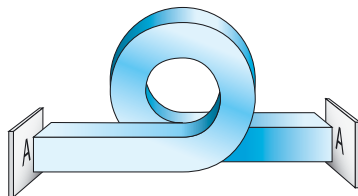


Рис. 180

Вопросы для самопроверки

1. Почему струя воды (см. рис. 178) освещена изнутри?
2. Зачем шлифуют торцы световода?
3. Где применяют световоды?

§ 56. Линзы, ход лучей в линзах

- ✓ Почему призма может повернуть световые лучи?
- ✓ В чём заключается свойство обратимости световых лучей?

1. Вы конечно же знакомы с фотоаппаратом и умеете им пользоваться; может быть, знакомы с киноаппаратом и диапроектором. Возникает вопрос: каким образом с помощью этих приборов создаётся изображение предметов?

В конструкции каждого из них имеется **линза**. Именно она преломляет падающие на неё лучи и позволяет получать изображения предметов.

Линзой называют прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями.

Иногда одна из поверхностей может быть плоской.

Линза, у которой середина толще, чем края, является **выпуклой** (рис. 181, *а*); она собирает падающий на неё пучок света и поэтому называется **собирающей**.

Линза, у которой края толще, чем середина, — **вогнутая** (рис. 181, *б*); она рассеивает падающий на неё свет и поэтому называется **рассеивающей**.

На рисунке 181 показано, как на чертеже изображают собирающую (*в*) и рассеивающую (*г*) линзы.

Линию, проходящую через центры сферических поверхностей C_1 и C_2 , ограничивающих линзу (см. рис. 181), называют **главной оптической осью**.

Мы будем рассматривать линзы, толщина которых очень мала по сравнению с радиусами поверхностей. Такие линзы называют **тонкими**. Для этих линз вершины сферических поверхностей (точки O_1 и O_2) практически совпадают, и эту точку называют **оптическим центром линзы** — точка O (см. рис. 181).

2. Рассмотрим ход лучей в тонкой собирающей линзе. Для этого поместим в центр оптической шайбы линзу, направим на неё луч света вдоль главной оптической оси. Луч пройдёт через линзу без преломления. Направим луч света через оптический центр под некоторым углом к главной оптической оси; луч также не изменит своего первоначального направления (рис. 182).

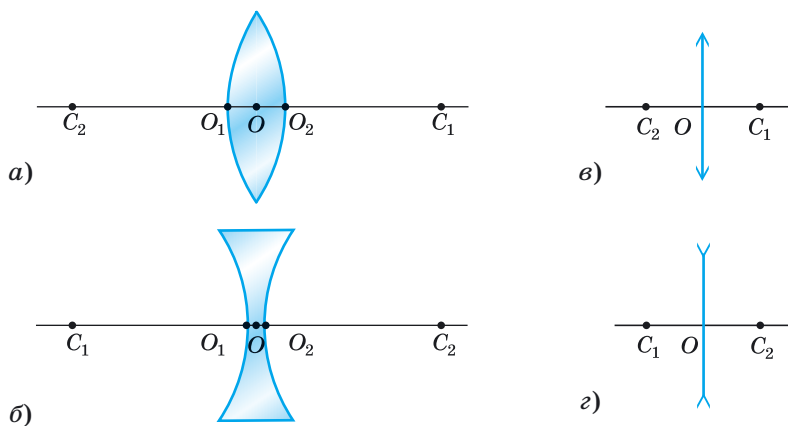


Рис. 181

Таким образом,
через оптический центр линзы лучи света
проходят без преломления.

Теперь направим на эту линзу лучи, параллельные главной оптической оси. После преломления в линзе они пересекутся в одной точке F , лежащей на главной оптической оси (рис. 183). Эту точку называют **главным фокусом линзы**.

Главный фокус линзы — точка, в которой после преломления соберутся лучи света, падающие на линзу параллельно главной оптической оси.

Линза имеет два фокуса: справа и слева от оптического центра линзы. Расстояние от оптического центра линзы до её главного фокуса называют **фокусным расстоянием**.

3. Подобный опыт можно проделать с рассеивающей линзой. Если на неё направить пучок лучей, параллельных главной оптической оси, то этот пучок будет расходящимся (рис. 184). А продолжения лучей пересекутся в одной точке, которую называют **главным фокусом рассеивающей линзы**. Этот фокус является **мнимым**: в нём пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

4. Для построения изображения светящейся точки достаточно знать ход двух лучей света в линзе.

Луч света 1 от точки S пройдёт через оптический центр собирающей линзы не преломляясь (рис. 185). Луч 2 проведём параллельно главной оптической оси. Преломлённый луч пройдёт через главный фокус F линзы. Точка пересечения S' этих двух лучей после преломления в линзе и будет изображением точ-

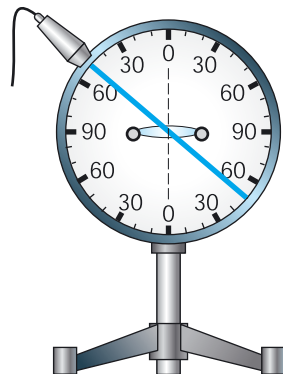


Рис. 182

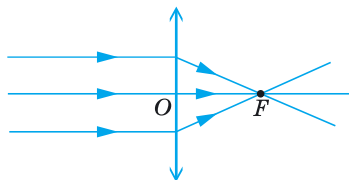


Рис. 183

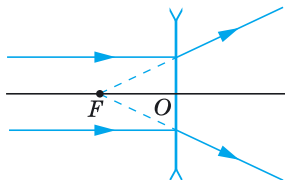


Рис. 184

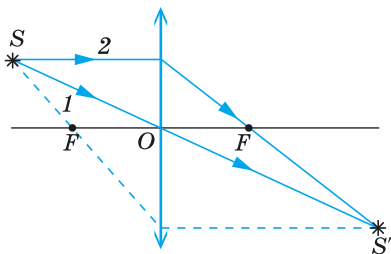


Рис. 185

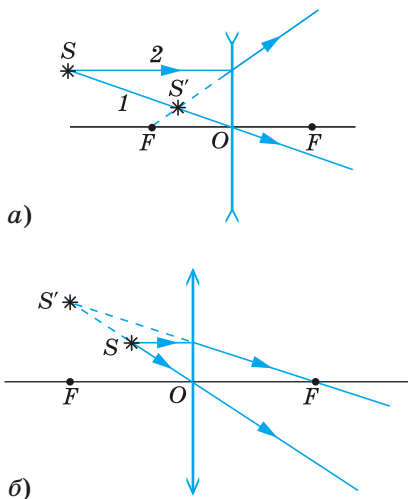


Рис. 186

Изображение, которое даёт рассеивающая линза, является **мнимым**. Оно получается при пересечении не лучей, а их продолжений.

С помощью собирающей линзы тоже можно получить мнимое изображение светящейся точки. Для этого источник света помещают перед фокусом линзы (рис. 186, б).

6. Величину, обратную фокусному расстоянию, называют оптической силой линзы.

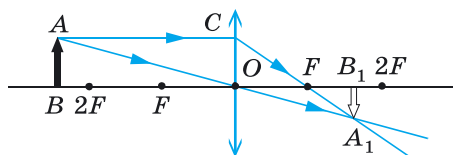
Оптическая сила линзы обозначается буквой D .

$$D = \frac{1}{F}.$$

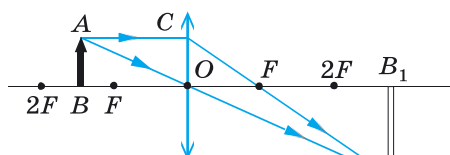
ки S . Оно получено при пересечении двух световых лучей и является **действительным**. Если поставить экран в точку S' , то можно увидеть изображение светящейся точки S .

При построении изображения можно использовать и ещё один луч — луч, проходящий через главный фокус линзы (см. рис. 185), после преломления он будет параллелен главной оптической оси и также пройдёт через точку S' .

5. Построим изображение светящейся точки, даваемое рассеивающей линзой. Направим на линзу луч 1 , проходящий через оптический центр; он пройдёт через линзу не преломляясь (рис. 186, а). Луч 2 , параллельный главной оптической оси, после преломления пойдёт так, что его продолжение пересечёт оптическую ось в главном фокусе линзы. Продолжение луча и луч, проходящий через оптический центр, пересекутся в точке S' . Она является изображением точки S .



а)



б)

Рис. 187

Единица оптической силы линзы — *диоптрия (1 дптр)*.

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}}.$$

1 дптр — *оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м.*

Если фокусное расстояние линзы 0,5 м, то её оптическая сила равна 2 дптр. Чем больше оптическая сила линзы, тем сильнее она преломляет свет.

Оптическая сила собирающей линзы — величина положительная. Поскольку у рассеивающей линзы фокус мнимый, условились считать её фокусное расстояние отрицательным, поэтому и оптическая сила рассеивающей линзы — величина отрицательная.

7. Размер изображения предмета A_1B_1 в линзе может быть больше или меньше размера предмета AB (рис. 187). Отношение размера изображения H к размеру предмета h называют увеличением линзы Γ :

$$\Gamma = \frac{H}{h}.$$

Если $\Gamma > 1$, то изображение получается больше предмета; если $\Gamma < 1$, то изображение меньше предмета.

Вопросы для самопроверки

1. Чем различаются собирающая и рассеивающая линзы?
2. Что называют:
 - оптическим центром линзы;
 - главной оптической осью;
 - главным фокусом линзы;
 - фокусным расстоянием?
3. Объясните, что значит мнимый фокус; мнимое изображение.

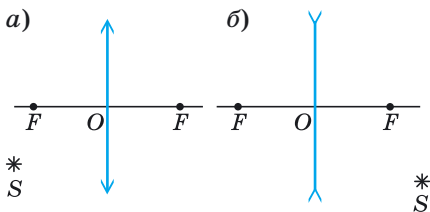


Рис. 188

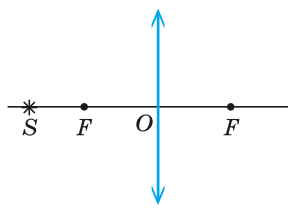


Рис. 189

Задание 45

1. Постройте изображение точки S в случаях, приведённых на рисунке 188.
- 2*. Постройте изображение точки S , лежащей на главной оптической оси линзы (рис. 189).
- 3*. Какая линза имеет больший радиус кривизны — с бóльшим или меньшим фокусным расстоянием? Какая из этих линз имеет большую оптическую силу?

Лабораторная работа № 14

Изучение изображения, даваемого линзой

Цель работы:

исследовать изображение, даваемое линзой, в зависимости от положения предмета относительно линзы.

Приборы и материалы:

собирающая линза, лампочка на подставке, экран, линейка, лабораторный источник питания, ключ, соединительные провода.

Порядок выполнения работы

1. Определите фокусное расстояние линзы. Для этого при помощи линзы получите на экране чёткое изображение какого-либо удалённого предмета. Расстояние от линзы до изображения равно фокусному расстоянию. Определите оптическую силу линзы.
2. Поместите горящую электрическую лампочку на расстоянии d , большем, чем двойное фокусное расстояние линзы. Получите на экране чёткое изображение лампочки. Измерьте расстояние от линзы до изображения f , размеры лампочки и размеры её изображения. Запишите результаты в таблицу 30.

Таблица 30

Расстояние от предмета до линзы d , см	Расстояние от линзы до изображения f , см	Характеристика изображения		Размеры предмета h , см	Размеры изображения H , см
		Действительное или мнимое	Увеличенное или уменьшенное		
$d > 2F$					
$d = 2F$					
$F < d < 2F$					

3. Поместите лампочку на расстоянии, равном двойному фокусному, затем — на расстоянии, большем фокусного и меньшем двойного фокусного. В каждом случае получите изображение и выполните те же измерения, что в п. 2.

4. Для каждого случая постройте ход лучей в линзе.

5*. *Дополнительное задание.* Вычислите увеличение линзы в каждом случае.

Задание 46

1. Постройте изображение предмета AB в случаях, приведённых на рисунке 190. Учтите, что даваемые линзой изображения отрезков прямых, тоже отрезки прямых.

2*. Чему равно увеличение линзы, если высота дерева 6 м, а его изображение, полученное с помощью линзы, имеет высоту 3 мм? Каково соотношение между расстоянием от дерева до линзы и от линзы до изображения?

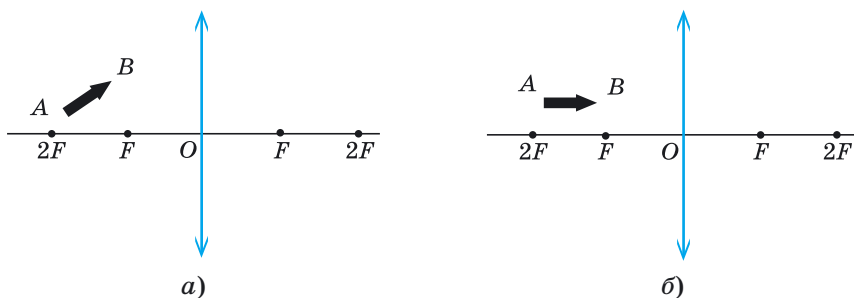


Рис. 190

3*. Чему равна высота изображения, даваемого линзой, если высота предмета 4 см, а её увеличение равно 10? Как по отношению к линзе расположен предмет?

§ 57*. Формула линзы

- ✓ Каков после преломления в линзе ход луча света, параллельного главной оптической оси линзы?
- ✓ Каков после преломления ход луча света, проходящего через оптический центр линзы?

1. Установим связь между расстояниями от предмета до линзы и от линзы до изображения и фокусным расстоянием.

Построим изображение предмета AB в собирающей линзе (рис. 191). Расстояние OB от предмета до линзы обозначим буквой d , расстояние OB' от линзы до изображения — буквой f , фокусное расстояние OF — буквой F .

Рассмотрим треугольники AOB и $A'O'B'$. Эти треугольники подобны, так как имеют равные углы. Поэтому

$$\frac{AB}{A'B'} = \frac{OB}{OB'}.$$

Треугольники OCF и $A'B'F$ также подобны, так как имеют равные углы. Следовательно,

$$\frac{OC}{A'B'} = \frac{OF}{FB'}.$$

Поскольку $AB = OC$ и $FB' = OB' - OF$, можем записать

$$\frac{OF}{OB' - OF} = \frac{OB}{OB'}.$$

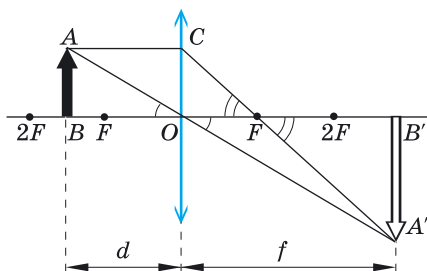


Рис. 191

Подставив введённые обозначения, получим

$$\frac{F}{f - F} = \frac{d}{f}.$$

Умножив обе части этого равенства на $f(f - F)$, запишем

$$Ff = fd - Fd.$$

Разделим обе части последнего равенства на произведение Ffd , получим

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}.$$

Это **формула линзы**. Читается она следующим образом:

сумма величин, обратных расстояниям от предмета до линзы и от линзы до изображения, равна величине, обратной фокусному расстоянию.

2. Увеличение линзы мы определили как величину, равную отношению размера изображения к размеру предмета: $\Gamma = \frac{H}{h}$. Выразим увеличение линзы иначе. Рассмотрим треугольники AOB и $A'O'B'$. Из их подобия следует:

$$\frac{A'B'}{AB} = \frac{OB'}{BO}; \quad \frac{A'B'}{AB} = \Gamma; \quad \frac{OB'}{BO} = \Gamma, \text{ или } \Gamma = \frac{f}{d}, \text{ т. е.}$$

увеличение линзы равно отношению расстояния от линзы до изображения к расстоянию от предмета до линзы.

Вопросы для самопроверки

1. Какие величины связывает формула линзы?
2. Как определить увеличение линзы?

Задание 47*

1. Чему равно увеличение линзы, если расстояние от предмета до линзы 5 см, а от линзы до действительного изображения 20 см? Определите фокусное расстояние этой линзы и её оптическую силу.
2. На каком расстоянии от линзы следует поместить экран, если расстояние от предмета до линзы равно 15 см, а её фокусное расстояние 14 см? Чему равно увеличение линзы?
3. Определите высоту свечи, находящейся на расстоянии 15 см от линзы, если высота её изображения, полученного с помощью линзы, оказалась равной 12 мм. Фокусное расстояние линзы 50 мм.

§ 58. Фотоаппарат. Проекционный аппарат

✓ На каком расстоянии от линзы должен располагаться предмет, чтобы на экране получилось его уменьшенное изображение; увеличенное изображение?

1. Линзы являются главной частью большинства оптических приборов. Рассмотрим один из таких приборов — фотоаппарат (рис. 192). Фотоаппарат представляет собой непрозрачную камеру, в которую встроена линза, играющая роль объектива. Простейший объектив состоит из одной линзы. Объектив более сложных фотоаппаратов представляет собой систему собирающих линз.

Существуют фотоаппараты двух типов: плёночные (аналоговые) и цифровые. Независимо от типа оптическая система фотоаппаратов одинакова; они различаются принципом формирования изображения.

С помощью объектива фотоаппарата получают действительное уменьшенное изображение предметов. Такое изображение $A'B'$, как вам известно, даёт собирающая линза, если предмет AB находится от неё на расстоянии, большем двойного фокусного расстояния линзы $2F$ (рис. 193). Выполняя построения изображения предмета в собирающей линзе, вы могли заметить, что чем дальше предмет находится от двойного фокуса линзы, тем ближе его изображение к фокусу линзы. Поскольку расстояние между фотографируемым предметом много больше двойного фокусного расстояния объектива, то расстояние между линзой и изображением предмета будет примерно равно фокусному расстоянию.

2. Лучи света, проходя через объектив, создают изображение предмета вблизи задней стенки. На задней стенке анало-

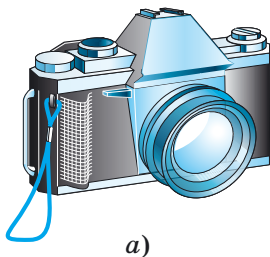


Рис. 192

гового фотоаппарата (рис. 192, а) находится светочувствительная плёнка, на которой и формируется изображение.

Плёнка, на которой получают изображение, покрыта светочувствительным веществом. При освещении плёнки происходит химическая реакция. Её результат зависит от интенсивности падающего света. Если плёнку освещают светом длительное время, то всё покрывающее её вещество вступает в химическую реакцию и плёнка засвечивается. При проявлении плёнка окажется чёрной. Неосвещённая плёнка после проявления будет бесцветной.

Поэтому плёнка должна освещаться светом лишь определённое время, которое зависит от чувствительности плёнки и освещения фотографируемого предмета. Освещение плёнки можно менять. Для этого объектив имеет диафрагму, которая позволяет изменять размеры входного отверстия объектива.

3*. В настоящее время на смену аналоговым фотоаппаратам пришли цифровые (рис. 192, б). В них светочувствительным элементом служит матрица. Свет через объектив попадает на матрицу, где формируется картинка, которая затем записывается в память.

Матрица состоит из множества светочувствительных ячеек — пикселей. Ширина каждой ячейки всего 6 микрон — это 6 миллионных долей метра. Пять тысяч таких ячеек (сенсоров) могут поместиться на кончике остро заточенного карандаша.

Каждая ячейка при попадании на неё света вырабатывает электрический сигнал, зависящий от интенсивности светового потока. В простейшем случае обрабатывается информация только о яркости света, и картинка получается чёрно-белой. Чтобы получить цветное изображение, ячейки покрывают цветными фильтрами. Каждый пиксель оказывается покрытым либо красным, либо синим, либо зелёным фильтром. Соответственно, каждый сенсор обрабатывает только один цвет. Эти цвета — красный, синий и зелёный — называют *основными* цветами, остальные цвета получаются при их смешении в разных пропорциях.

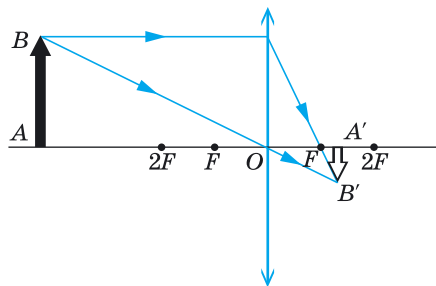


Рис. 193

Когда на сенсор падает свет, то сенсор, поглотив энергию света, испускает заряженную частицу — электрон. В зависимости от интенсивности света электронов может быть больше или меньше. Эта информация поступает в устройство, где она определённым образом обрабатывается. Готовая фотография передаётся в память фотокамеры, где она хранится и доступна для просмотра пользователю. *При фотографировании необходимо добиться чёткого изображения предмета, для чего изменяют расстояние от объектива до матрицы (плёнки). Кроме того, необходимо установить соответствующее освещение матрицы (плёнки), что достигается с помощью диафрагмы.*

4. Проекционный аппарат позволяет получить на экране увеличенное изображение предмета. К проекционным аппаратам относятся *диапроектор, киноаппарат, мультимедийный проектор.*

Вам уже известно, что увеличенное действительное изображение $A'B'$ предмета AB можно получить, если поместить его между фокусом и двойным фокусом собирающей линзы (рис. 194). Причём чем ближе к фокусу расположен предмет, тем больше размер его изображения.

Проекционный аппарат устроен следующим образом. В закрытом корпусе K помещён источник света S (рис. 195). Вогнутое зеркало, в фокусе которого находится источник света, создаёт пучок параллельных лучей. С помощью системы линз $Л$ свет направляется на диапозитив $Д$. Лучи от диапозитива попадают в объектив $О$ и, проходя через него, создают изображение диапозитива на экране $Э$. Диапозитив располагается за фокусом объектива.

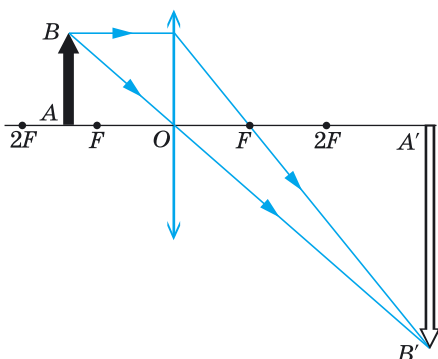


Рис. 194

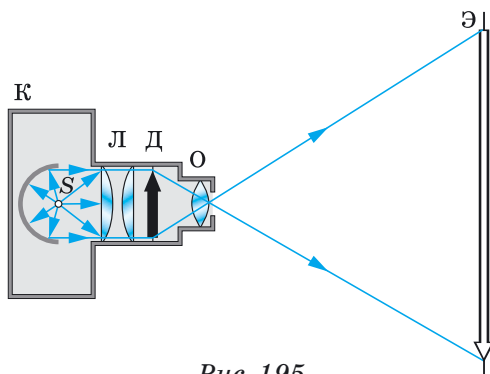


Рис. 195

Увеличение проекционного аппарата можно менять. С этой целью объектив вращают по винтовой резьбе и таким образом изменяют расстояние от диапозитива до объектива. Чтобы изображение было чётким, следует менять и расстояние до экрана.

В мультимедийном проекторе в одном корпусе размещают проекционную лампу, матрицу и оптическую систему. Сигнал к нему подаётся от компьютера через специальный вход.

Вопросы для самопроверки

1. Опишите изображение, полученное на матрице (плёнке) фотоаппарата.
- 2*. Зачем объектив фотоаппарата делают подвижным?
3. Каким образом достигается необходимая освещённость матрицы (плёнки) фотоаппарата?
4. Опишите изображение, получаемое с помощью проекционного аппарата.
5. Назовите основные части проекционного аппарата (см. рис. 195).
6. Как можно изменять увеличение объектива проекционного аппарата?
- 7*. Какую линзу используют в фотоаппарате — с большим или малым фокусным расстоянием? Почему? Каков радиус кривизны этой линзы?

Задание 48

1. Каково увеличение объектива фотоаппарата, если изображение предмета высотой 2 м имеет высоту 2 см?
- 2_д. Подготовьте сообщение о развитии фотографии, используя различные источники информации, в том числе Интернет.
3. Рассчитайте увеличение объектива диапроектора, если размер диапозитива 3×4 см, а размер его изображения на экране 60×80 см.
- 4*. Какую высоту имеет изображение диапозитива высотой 4 см, если увеличение равно 15? На каком расстоянии от объектива следует повесить экран, чтобы получить чёткое изображение, если диапозитив находится от объектива на расстоянии 10 см?

§ 59. Глаз как оптическая система

✓ Вспомните строение глаза человека.

1. Глаз является одним из важнейших органов чувств человека: 90% сведений об окружающем мире человек получает благодаря зрению. Рассмотрим строение глаза человека.

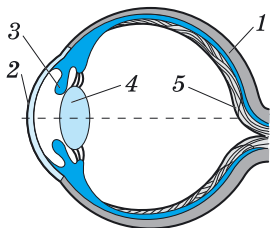


Рис. 196

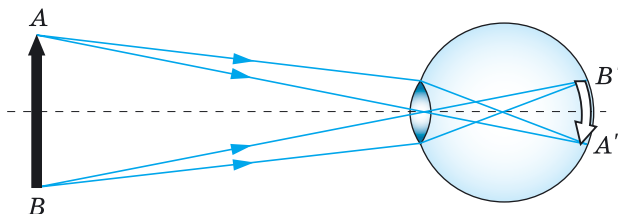


Рис. 197

Глаз человека имеет почти шарообразную форму (рис. 196). Его диаметр у взрослого человека примерно 25 мм.

Глаз снаружи покрыт прочной белой оболочкой, которая защищает его от повреждений и называется *склерой* (1). Передняя часть склеры прозрачна. Она называется *роговицей* (2). За роговицей расположена *радужная оболочка* (3). Она окрашена и определяет цвет глаз человека.

Радужная оболочка непрозрачна. В её центре находится зрачок, сквозь который световые лучи проходят внутрь глаза. Диаметр зрачка может изменяться в зависимости от интенсивности света. Таким образом, зрачок выполняет роль диафрагмы.

За зрачком находится *хрусталик* (4). Хрусталик прозрачен и по форме напоминает собирающую линзу. Хрусталик может быть более выпуклым или менее выпуклым, при этом изменяется его фокусное расстояние.

За хрусталиком расположено стекловидное тело, заполняющее остальную часть глаза. Роговица, стекловидное тело и хрусталик играют роль сложного объектива, преломляя падающие лучи света.

Оптическая система глаза подобна объективу фотоаппарата. Она даёт действительное, уменьшенное и перевёрнутое изображение предмета AB (рис. 197). Это изображение $A'B'$ образуется на *сетчатке* (5) глаза (см. рис. 196), которой покрыта его задняя стенка.

Таким образом, сетчатка подобна матрице в фотоаппарате.

2. Почему человек видит предмет? Это связано со строением сетчатки и особенностями деятельности нервной системы человека.

Зрительные нервы состоят из множества нервных волокон, по которым в мозг поступает информация. Нервные волокна разветвляются и образуют слой, чувствительный к свету, т. е. сет-

чатку. Нервные окончания существуют в двух видах: палочки и колбочки, которые названы так в соответствии с их формой. Именно они передают ощущения света в мозг. При этом палочки реагируют на свет и тень, а колбочки чувствительны к цветам.

3. Изображение предмета на сетчатке получается перевернутым (см. рис. 197). Мы же его воспринимаем прямым. Это происходит потому, что предметы воспринимаются не только глазом, но и другими органами чувств. Процесс зрения корректируется мозгом, и мы видим предметы в тех положениях, в каких они находятся в действительности.

4. Как «работает» оптическая система глаза? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно помнить, что отчётливое изображение предмета получается тогда, когда преломлённые лучи сходятся на сетчатке глаза.

Изображение удалённого предмета получается на сетчатке без напряжения мышцы хрусталика. По мере приближения предмета хрусталик становится более выпуклым, т. е. его фокусное расстояние уменьшается. Лучи света от предмета преломляются так, что изображение и в этом случае оказывается на сетчатке. Изменение кривизны хрусталика осуществляется мышцей, соединённой с ним. Такое приспособление глаза к изменению расстояния до предмета называют **аккомодацией глаза**.

5. Угол, под которым виден предмет из оптического центра глаза, называют **углом зрения** φ . От величины этого угла зависит размер изображения на сетчатке (рис. 198). Чем дальше предмет от наблюдателя и чем меньше его размеры, тем меньше угол зрения и, соответственно, размер изображения.

6. Вам хорошо известно, что книгу при чтении располагают на определённом расстоянии от глаз. Оно должно быть таким, чтобы можно было отчётливо видеть текст и не испытывать при этом напряжения глаз. Для нормального глаза взрослого человека это расстояние равно примерно 25 см. У детей оно около 10 см. Это расстояние называют **расстоянием наилучшего зрения**.

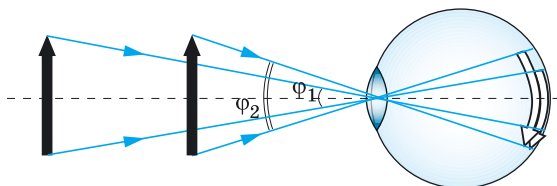


Рис. 198

Вопросы для самопроверки

1. Каково строение глаза?
2. Какое изображение получается на сетчатке глаза?
3. Каковы свойства хрусталика?
4. Проведите аналогию между строением глаза и устройством фотоаппарата.
5. Что называют аккомодацией глаза?
6. Что называют углом зрения? От чего он зависит?
7. Что называют расстоянием наилучшего зрения? Чему оно равно для нормального глаза?

Задание 49

1. Посмотрите в окно и убедитесь в том, что нельзя увидеть чётко близкие и удалённые предметы одновременно. Опишите свои наблюдения. Объясните их.
2. Человек находится от дерева в первом случае на расстоянии 70 м, во втором — 30 м. Сравните углы зрения и размеры изображения в этих случаях. Сделайте соответствующие чертежи.

§ 60. Очки, лупа

✓ Каков дальнейший ход лучей, параллельных главной оптической оси линзы, после прохождения собирающей линзы; рассеивающей линзы?

1. Обычно люди рождаются с нормальным зрением. Однако со временем зрение у многих людей ухудшается. Наиболее распространёнными являются два основных недостатка зрения: **близорукость** и **дальнозоркость**.

Близорукий человек достаточно хорошо видит близко расположенные предметы и неотчётливо — удалённые. Близорукость может быть обусловлена тем, что мышцы, сжимающие хрусталик перенапряжены и не могут расслабиться так, чтобы глаз «настроился» на удалённые предметы.

У близоруких людей отчётливое изображение удалённого предмета получается перед сетчаткой (рис. 199). Для того чтобы это изображение получилось на сетчатке, необходимо изменить ход лучей света с помощью линзы.

Для устранения близорукости используют очки с рассеивающими линзами. Пучок параллельных лучей, пройдя сквозь такую линзу, становится расходящимся (рис. 200). Хрусталик соберёт этот расходящийся пучок на сетчатке.

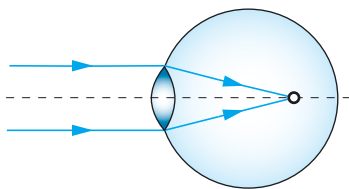


Рис. 199

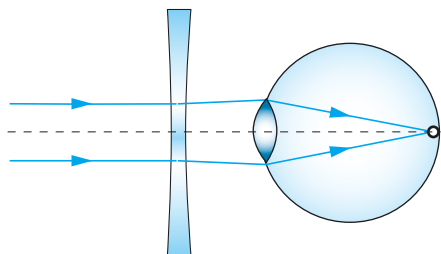


Рис. 200

2. Дальнозоркий человек хорошо видит удалённые предметы и плохо, расплывчато — близко расположенные. Причина заключается в том, что ослабевают глазные мышцы и уменьшается способность глаза к аккомодации. Хрусталик становится более плоским и не может увеличить свою кривизну.

В этом случае отчётливое изображение близких предметов получается за сетчаткой (рис. 201). Чтобы исправить дальнозоркость, нужно сильнее преломить лучи. С этой целью используют очки с собирающими линзами (рис. 202). На хрусталик падает пучок сходящихся лучей, который он преломляет так, что изображение получается на сетчатке. Таким образом, близорукость и дальнозоркость корректируются очками.

3. Очки, которые носит человек, могут причинять ему некоторые неудобства. Поэтому каждый должен знать, что нужно делать, чтобы как можно дольше сохранить нормальное зрение. Правила гигиены зрения следующие:

- читайте и пишите только при хорошем освещении;
- сидите так, чтобы свет падал на книгу или тетрадь слева от вас;
- держите книгу или тетрадь от себя на расстоянии наилучшего зрения;

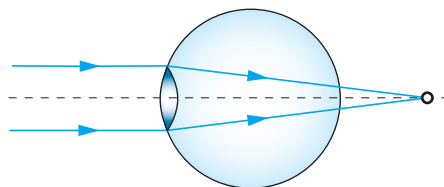


Рис. 201

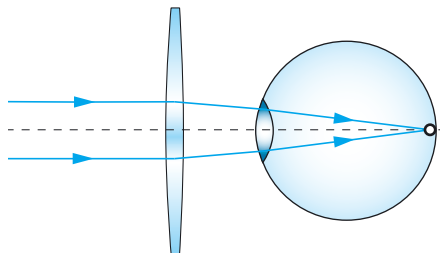


Рис. 202

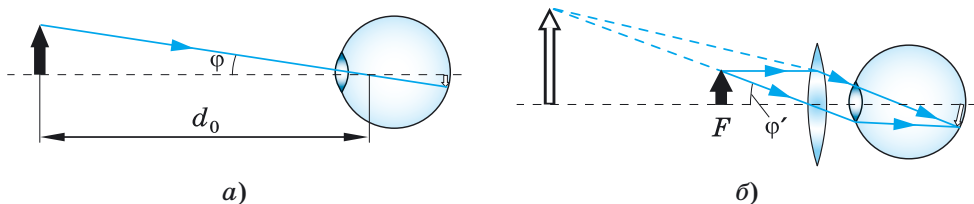


Рис. 203

- не читайте лёжа;
- не читайте в транспорте;
- избегайте чтения при ярком свете, особенно при прямом солнечном свете.

4. Существуют разнообразные оптические приборы, которые вооружают глаз. Одни из них позволяют различать удалённые предметы (телескоп, бинокль), другие — мелкие предметы (лупа, микроскоп). Все эти приборы увеличивают угол зрения.

Рассмотрим простейший прибор для вооружения глаза — лупу.

Лупа — это линза с малым фокусным расстоянием (от 1 до 10 см). Её обычно помещают близко к глазу, а предмет — в её фокусе. Лучи от предмета после преломления в линзе образуют параллельный пучок и затем собираются глазом на сетчатке. В этом случае мелкие детали предмета рассматриваются без напряжения.

Из рисунка 203 видно, что лупа увеличивает угол зрения. Это приводит к увеличению размеров изображения предмета на сетчатке.

Увеличение лупы равно отношению расстояния наилучшего зрения d_0 к фокусному расстоянию лупы F :

$$\Gamma = \frac{d_0}{F}.$$

Увеличение можно определить экспериментально. Для этого с помощью лупы получают чёткое изображение удалённого предмета и измеряют расстояние от предмета до лупы. Оно является фокусным расстоянием лупы.

Вопросы для самопроверки

1. Каковы признаки и причины дальнозоркости и близорукости?
2. Какими очками корректируют близорукость?
3. Какими очками корректируют дальнозоркость?

4. Перечислите правила гигиены зрения.
5. Каково назначение лупы?
6. Как располагают лупу по отношению к глазу и предмету?

Задание 50

- 1₃. Если кто-нибудь из ваших близких носит очки, рассмотрите их. Какой недостаток зрения они исправляют? Какая линза в них использована? Как это практически определить?
- 2*. Придумайте, как экспериментально определить фокусное расстояние и оптическую силу линз очков. Для каких очков это можно сделать? Выполните опыт.
- 3₃. Проверьте своё зрение. Какие предметы вы отчётливее видите — удалённые или близкие? Хорошо ли вы видите текст книги на расстоянии наилучшего зрения? Будет ли изменяться чёткость текста, если книгу приближать к глазам? На каком расстоянии текст станет нечётким? Объясните почему.
- 4*. Что такое бифокальные очки? Каково их назначение?

§ 61. Разложение белого света в спектр

- ✓ Что называют преломлением света?
- ✓ Что такое радуга? Когда она наблюдается?

1. Вам наверняка неоднократно приходилось наблюдать такое природное явление, как *радуга*. Попробуем её получить, проделав опыт.

Направим на экран Э свет от источника *S* (рис. 204). Если на пути пучка света поставить диафрагму *AB*, то на экране образуется узкая белая полоса. Поместим на пути светового пучка трёхгранную призму. На экране мы увидим широкую разноцветную полосу *MN*, которую называют **спектром белого света**.

Спектр белого света состоит из семи простых цветов: *красного, оранжевого, жёлтого, зелёного, голубого, синего и фиолетового*.

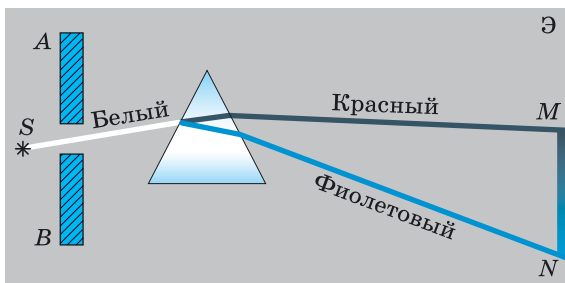


Рис. 204

вого. Это деление достаточно условно, поскольку границы между цветами размыты.

Поставив на пути разноцветного пучка вторую трёхгранную призму, повернутую на 180° , т. е. сложив цвета, мы снова получим на экране белую полосу.

2. Что будет происходить с пучком красного, зелёного или другого цвета, если его направить на призму? Опыт показывает, что любой из них, проходя сквозь призму, сохранит свой цвет.

3. Таким образом, опыт позволяет сделать следующий вывод: **белый свет сложный**; условились считать, что **он состоит из семи простых цветов**.

Разложение белого света в спектр объясняется тем, что лучи разного цвета по-разному преломляются. Лучи красного цвета преломляются слабее всех других, а лучи фиолетового цвета — сильнее.

4. Попробуем объяснить, как образуется радуга. Радуга выглядит как разноцветная дуга или окружность, составленная из цветов спектра (от внешнего края: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий, фиолетовый). На самом деле спектр непрерывен, и его цвета плавно переходят друг в друга через множество промежуточных цветов.

Люди давно задумывались над природой радуги. Человечество связало радугу с множеством поверий и легенд. В древнегреческой мифологии, например, радуга — это дорога между небом и землёй, по которой ходила посланница между миром богов и миром людей Ирида. В Китае считали, что радуга — это небесный дракон, союз Неба и Земли. В славянских мифах и легендах радугу считали волшебным небесным мостом, перекинутым с неба на землю, дорогой, по которой ангелы сходят с небес набирать воду из рек.

По некоторым данным, первым, кто дал достаточно точное описание и объяснение радуги, был персидский астроном *Кутб ад-Дин аш-Ширази* (1236—1311).

Самое полное объяснение радуги было сделано Ньютоном в его трактате «Оптика», где он объяснил причины возникновения не только самой радуги, но и её цветов: красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, синий, индиго и фиолетовый. Считают, что он был первым, кто выделил в радуге 7 цветов.

Объясняя природу радуги, следует учитывать, что чаще её можно наблюдать перед дождём, во время дождя или после него в том случае, если одновременно с дождём сквозь тучи пробивается солнце и если вы находитесь строго между солнцем (оно должно быть сзади) и дождём (он должен быть перед вами).

Что же при этом происходит?

Лучи солнца проходят через капельки дождя. А каждая такая капелька работает как призма. Солнечные лучи отражаются от дождевых капель и преломляются в них. Причём капельки по-разному отклоняют свет разных цветов, в результате чего белый свет разлагается в спектр (рис. 205). Наблюдатель, который стоит спиной к источнику света, видит разноцветное свечение в форме дуги. Однако это — часть радуги. Полная радуга имеет форму окружности, и целиком её можно увидеть лишь на большой высоте, с борта самолёта или с высокой горы.

Иногда на небе можно увидеть двойную радугу, она образуется в том случае, когда световой луч отражается от внутренней поверхности дождевых капель дважды. Первая радуга, внутренняя, всегда ярче второй, внешней, а порядок цветов дуг на второй радуге «перевернутый» — снаружи находится фиолетовый, а внутри красный.

Радугу можно наблюдать не только в дождь. Она может возникнуть в лучах солнца, отражённых от водной поверхности морских заливов, озёр, водопадов или больших рек. В яркую лунную ночь можно наблюдать и радугу от Луны. Лунная радуга выглядит более белёсой, чем солнечная.

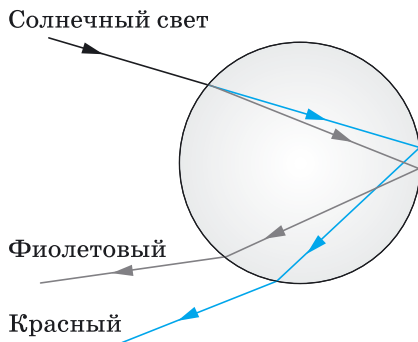


Рис. 205

Вопросы для самопроверки

1. Что означает выражение «белый свет — сложный свет»?
2. Как доказать, что белый свет сложный?
3. Как объяснить разложение белого света в спектр?
4. Как доказать, что цвета, входящие в состав белого света, простые?
5. Что такое радуга? Как она образуется?

Задание 51

Прodelайте опыт. Наполните неглубокий сосуд водой и поставьте в него плоское зеркало под тупым углом ко дну. Осветите зеркало солнечным светом и на стене или потолке получите яркий спектр солнца. Опишите явление и объясните его.

§ 62. Сложение спектральных цветов

✓ О чём свидетельствует явление разложения света в спектр?

1. Направим на экран с помощью зеркал световые пучки двух простых цветов, они наложатся друг на друга. На экране образуются новые цвета. Это явление называют **сложением спектральных цветов**.

Сложение красного цвета с жёлтым даёт оранжевый цвет, оранжевого цвета с зелёным — жёлтый.

При сложении трёх цветов: красного, синего и фиолетового — образуются различные оттенки пурпурного цвета.

2. В ряде случаев при сложении двух спектральных цветов глаз воспринимает белый цвет. Так, белый цвет получается при сложении синего и жёлтого цветов, оранжевого и голубого, красного и голубовато-зелёного. Цвета, дающие при сложении белый цвет, называют *дополнительными*.

Некоторые сочетания дополнительных цветов приведены в таблице 31.

Таблица 31

Красный	Оранжевый	Жёлтый	Жёлто-зелёный	Зелёный
Голубовато-зелёный	Голубой	Синий	Фиолетовый	Пурпурный

3. Кроме ярких, насыщенных цветов, мы часто встречаем вокруг себя тусклые, блёклые цвета — серый, коричневый, бежевый, розовый и др. и их разнообразные оттенки. Эти цвета можно получить, «смешивая» спектральные цвета с белым цветом. Чем больше белого цвета, тем менее насыщенный цвет получают.

4. Особенности трёх *основных* спектральных цветов — красного, зелёного и синего — следующие:

— ни один из них нельзя получить при сложении других цветов спектра;

- сложение этих трёх цветов может дать белый цвет;
- в зависимости от того, в какой пропорции складываются эти цвета, можно получать разные цвета и оттенки.

Если сложить красный, синий и зелёный цвета одинаковой интенсивности, получится синий цвет. Чтобы получить белый цвет, самым интенсивным должен быть пучок зелёного цвета, наименее интенсивным — пучок синего цвета.

Синий цвет даже очень небольшой интенсивности сильно влияет на цвет смеси, влияние же зелёного цвета значительно слабее.

На сложении красного, зелёного и синего цветов основаны цветное кино, цветное телевидение, цветная фотография.

Если у вас есть телевизор, то вы легко можете проверить влияние интенсивности любого из основных цветов на цвет изображения.

Вопросы для самопроверки

1. Какое явление называют сложением спектральных цветов?
2. Какие цвета называют дополнительными?
3. Приведите примеры дополнительных цветов.
4. Как можно получить различные цвета и цветовые оттенки?
5. Какие цвета спектра называют основными?
6. Каковы свойства основных цветов спектра?

Задание 52

Пронаблюдайте сложение цветов. Вырежьте из плотной бумаги круг диаметром 15—18 см. Разделите его на три сектора равных размеров. Покрасьте один сектор в красный цвет, другой — в синий, третий — в зелёный. В центре круга сделайте небольшое отверстие. Насадите круг на ось волчка. Если нет волчка, то можно насадить круг на остриё карандаша или на гвоздь. Приведите его во вращение. Опишите и объясните свои наблюдения.

Проведите другие опыты с кругом, изменив размеры окрашенных секторов, изменив цвета секторов и т. п.

§ 63. Цвета тел

- ✓ Какие явления происходят на границе раздела двух сред?
- ✓ Какое отражение света называют зеркальным; диффузным?

1. Мир, окружающий нас, необычайно красочен. Возникает вопрос: почему тела, которые мы видим, по-разному окрашены, хотя они освещаются одним и тем же источником света, например Солнцем?

Вы уже знаете, что на границе раздела двух сред происходят три явления: отражение, преломление и поглощение света. При этом интенсивность отражённого, преломлённого и поглощённого пучков зависит от цвета падающего света и от оптических свойств граничащих сред. Так, если поверхность зеркальная, то свет в основном отражается.

Некоторые вещества слабо отражают и поглощают свет. Через эти вещества лучи света проходят насквозь, лишь преломляясь на границах. Такое вещество не имеет цвета. Оно прозрачно или бесцветно. Примерами таких веществ являются стекло, вода. Есть вещества, которые частично пропускают свет, а частично поглощают его. Интенсивность отражённого ими света мала.

Возьмём, например, красное стекло и посмотрим сквозь него в солнечный день на окружающие предметы. Многие из них кажутся нам окрашенными в красный цвет. Это означает, что через стекло проходит красный цвет, а другие цвета поглощаются. Сквозь зелёное стекло проходит зелёный цвет, другие цвета им поглощаются.

Если сложить вместе красное и зелёное стёкла, то они почти не будут пропускать свет. В этом случае практически все цвета спектра поглощаются обоими стёклами.

Существуют вещества, которые не пропускают свет. Они частично его поглощают, а частично отражают. При этом будем иметь в виду, что поверхность, на которую падает свет, имеет шероховатости. Поэтому отражение является диффузным, или рассеянным. Иначе говоря, происходит **рассеяние света**.

Предположим, что белый холст освещён солнцем. Он будет выглядеть белым потому, что отражает все цвета.

Нанесём на холст красную краску. Он будет красного цвета потому, что поглощает все цвета, кроме красного. Красный цвет он отражает, рассеивает.

Если на красную краску наложить синюю и жёлтую, то увидим полосу чёрного цвета. Это связано с тем, что теперь краски поглощают все цвета.

2. Сложение спектральных цветов нельзя путать со смешением красок. Сложение спектральных цветов — это сложение света разных цветов, получаемых от источников. **Смешение красок** — это изменение цвета поверхности, отражающей свет.

При сложении жёлтого и синего спектральных цветов получают белый цвет. Смешивая жёлтую и синюю краски, получают зелёный цвет. Это связано с тем, что жёлтая краска рассеивает жёлтый и зелёный цвета. Другие цвета она поглощает. Синяя краска рассеивает синий и зелёный цвета. Поэтому смесь жёлтой и синей красок рассеивает только зелёный цвет.

Таким образом, *цвет тела, освещаемого белым светом, зависит от того, свет какого цвета это тело рассеивает, пропускает или поглощает.*

3. Цвет может различаться по степени насыщенности. Часто цвета тканей, красок, покрывающих предметы, имеют белесоватый оттенок. Это связано с тем, что при отражении света от ткани, окрашенной, например, в синий цвет, отражается в основном свет синего цвета. Однако к нему примешивается и свет близких к синему цветов — голубой и фиолетовый.

Насыщенный цвет можно получить, если рассеянный тканью свет заставить вторично отразиться от той же ткани. В этом случае увеличится интенсивность отражённого света и белесоватость уменьшится. Многократным отражением света от поверхности объясняется насыщенность цветов таких тканей, как бархат, плюш. Они имеют многочисленные углубления, что позволяет свету многократно отражаться.

Вопросы для самопроверки

1. Как объяснить бесцветность тел?
2. Чем определяется цвет прозрачных тел?
3. Чем определяется цвет поверхности тел?
4. Что такое смешение красок?
5. От чего зависит цвет тела, освещаемого белым светом?

Задание 53

1. На листе белой бумаги написан текст синими буквами. Через стекло какого цвета нельзя увидеть написанное?
2. Красное и зелёное стёкла сложены вместе. Какие лучи пройдут через эту пару стёкол?
3. Одно стекло пропускает жёлтые, зелёные и голубые лучи; другое — красные, жёлтые и зелёные; третье — зелёные, голубые, синие. Какие лучи пройдут через эти стёкла, сложенные вместе?
4. В каком случае поверхность тела мы видим белой; красной; зелёной; чёрной? Почему?

5₃. Прodelайте с цветными стёклами следующие опыты:

— рассмотрите предметы через каждое из них при солнечном свете и при искусственном освещении. Сравните цвета тел, объясните наблюдаемые явления;

— рассмотрите предметы с помощью стёкол, накладывая их одно на другое. Объясните наблюдаемые явления.

6₃. Выполните опыты по смешению красок. Смешивайте краски разных цветов в разной последовательности. Какие цвета при этом получаются?

7₃. Выполните опыт по исследованию насыщенности цветов. Сложите гармошкой цветной листок бумаги. Наблюдайте изменение насыщенности цвета при растяжении и сжатии складок гармошки.

§ 64*. Зрительные иллюзии

✓ Как вы понимаете слово «иллюзия»?

1. Большую часть информации об окружающем мире человек получает благодаря зрению. Как вы уже знаете, оптическая система глаза формирует изображения предметов на сетчатке, а находящиеся на сетчатке окончания нервных волокон передают информацию в мозг. Из-за особенностей строения нашего зрительного аппарата, из-за особенностей процесса переработки мозгом полученной информации возникают зрительные или оптические иллюзии.



Рис. 206

Оптическими иллюзиями называют ошибки зрительного восприятия, которые возникают произвольно или сознательно у человека, наблюдающего определённые изображения.

2. К иллюзиям зрения относят неправильную оценку длины отрезков (рис. 206).

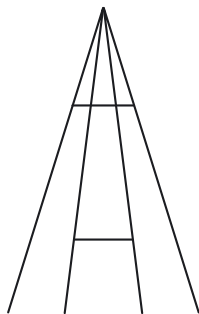


Рис. 207

Посмотрев на этот рисунок, вы скажете, что левый отрезок со стрелочками наружу длиннее правого со стрелочками, направленными внутрь. На самом деле длина отрезков одинакова.

Рисунок 207 также иллюстрирует искажения восприятия размера. На рисунке приведены два одинаковых отрезка на

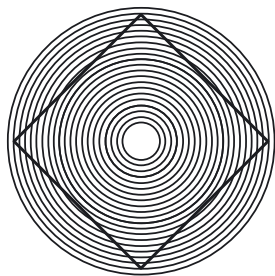


Рис. 208

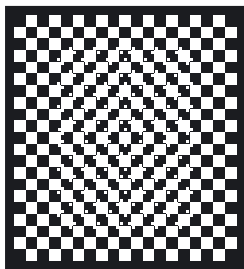


Рис. 209

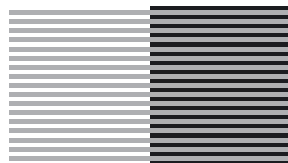


Рис. 210

фоне двух сходящихся линий, наподобие уходящего вдаль железнодорожного полотна. Верхний отрезок кажется крупнее, поскольку мозг воспринимает сходящиеся линии как две параллельные линии, сходящиеся на расстоянии. Поэтому мы думаем, что верхний отрезок расположен дальше, и полагаем, что его размер больше. Кроме сходящихся линий, этот эффект усиливает уменьшающееся расстояние между промежуточными горизонтальными отрезками.

3. Весьма часто встречается такая оптическая иллюзия, как искривление прямых линий. На рисунке 208 стороны квадрата воспринимаются не как прямые линии, а как вогнутые из-за того, что они пересекают окружности. То же относится к квадратам, изображённым на рисунке 209.

4. Иллюзия цвета заключается в том, что восприятие цвета существенно зависит от фона. Одинаковые цвета на разном фоне воспринимаются нами как разные, даже если находятся близко и видны нами одновременно (рис. 210).

При переводе взгляда на середине рисунка с чёрных полос на белые кажется, что белые полосы «смещаются» вверх.

Полоса на рисунке 211 представляется более яркой в левой части рисунка и более тёмной в правой его части, хотя на однотонном фоне её яркость одинакова. То же относится к малым квадратам на рисунке 212. Квадрат на тёмном фоне — более яркий, чем на белом. Кроме того, кажется, что размеры квадрата на тёмном фоне больше, чем квадрата на белом фоне, в то время как их размеры одинаковы.

Интересны иллюзии, которые заключаются в том, что в зависимости от угла зрения на рисунке можно увидеть разные изображения. Так, на рисунке 213 изображены незамкнутые прямые линии,



Рис. 211

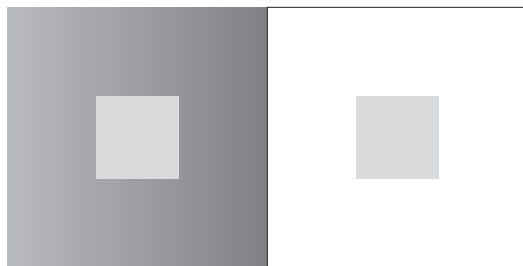


Рис. 212

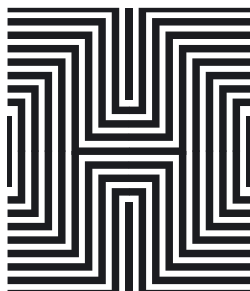


Рис. 213



Рис. 214



Рис. 215

но внутри рисунка явно просматриваются ромбы. На рисунке 214 изображены лягушка и лошадь; а на рисунке 215 один человек видит вазу, другой — два лица.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют оптическими иллюзиями?
2. Посмотрите на отрезки, изображённые на рисунке 216. Что вы можете сказать об их длине? Проверьте свои предположения измерениями.



Рис. 216

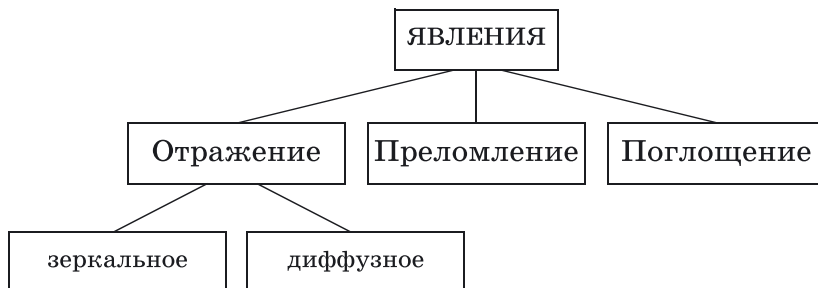
Темы докладов и проектов

1. Оптические иллюзии.
2. Оптика на службе человеку.
3. Цвета тел в природе.
4. Цветовое зрение.
5. Изготовьте оптический прибор (камеру-обскуру, перископ, калейдоскоп или др.).

Вы познакомились со световыми явлениями. Раздел физики, который их изучает, называется **оптикой**.

1. Свет в однородной среде распространяется прямолинейно. Следствием этого является образование тени.

2. На границе раздела двух сред наблюдаются явления:



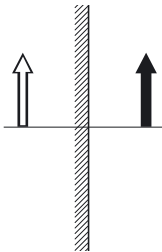
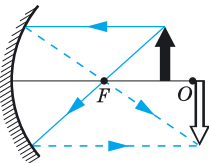
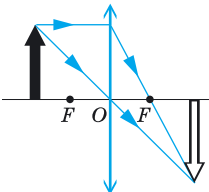
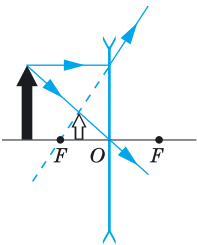
3. Явления отражения и преломления света подчиняются следующим законам (табл. 32).

Таблица 32

Закон	Отражение	Преломление
Формулировка	Падающий луч, отражённый луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости. Угол отражения равен углу падения: $\angle \beta = \angle \alpha$	Лучи падающий, преломлённый и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости. Угол преломления меньше угла падения при переходе света из среды, оптически менее плотной, в среду, оптически более плотную: $\angle \gamma < \angle \alpha$. Угол преломления больше угла падения при переходе света из среды, оптически более плотной, в среду, оптически менее плотную: $\angle \gamma > \angle \alpha$.
Применение	Зеркала	Линзы, призмы

4. Вы знаете ход лучей в зеркалах и линзах и умеете строить в них изображение (табл. 33).

Таблица 33

Зеркало		Линза	
плоское	вогнутое*	собирающая	рассеивающая
			

5. Вы познакомились с оптическими приборами. В некоторых из них используют зеркала, в других — линзы.



Ответы к заданиям

Задание 2. 1. 400 см; 40 дм. 2. 2000 кг; 2 000 000 г. 3. 80 мин; 4800 с. 4. 0,005 м³; 5 дм³; 5000 см³.

Задание 9. 2. 1440 м. 4. $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 5. 150 м.

Задание 10. 1. $4 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 2. $35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Задание 11. 2. $12 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $17 \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 3. $0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 4. $18 \frac{\text{м}}{\text{с}}$. 6. б) 8 с; 4 с; 0; в) 0; $0,375 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $1,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$; $-0,75 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$. 7*. 2 с.

Задание 12. 3. Левой тележки, в 2 раза.

Задание 13. 2. $2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Задание 14. 3. 2,5 Н.

Задание 15. 2. 500 Н; 0; 300 Н; 200 Н.

Задание 16. 3. $62,5 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$. 4. $400 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

Задание 17. 2. а) 4,916 Н; б) 4,89 Н; в) 4,903 Н.

Задание 18. 4. $\approx 2 \cdot 10^{20}$ Н. 5*. $9R_3$.

Задание 19. 3. $\approx 35,6$ Н.

Задание 20. 4. ≈ 15 кПа. 5. $\approx 1,5$ кПа. 6. В 10^5 раз.

Задание 21. 4. 700 Н. 5. 0,5.

Задание 22. 3. 30,6 кДж. 4. $2,5 \cdot 10^9$ Дж.

Задание 23. 2. 40 Вт; ≈ 27 Вт. 4. 300 кДж; 10 м.

Задание 24. 3. 0,8 кг. 4. 1200 Н. 5*. 4 кН; 1 кН.

Задание 25. 1. 400 Н; 400 Н. 2. 19,5 кг. 3*. 4 раза; 375 Н. 5. 1 м.

Задание 26. 1. 80%. 2. $\frac{1}{2}$. 3. 800 Дж; 950 Дж; 84%. 4. 28 Дж; 36 Дж; $\approx 78\%$. 5*. $\approx 87\%$.

Задание 27. **4.** 200 кДж. **5.** 20 кДж.

Задание 30. **1.** 2 с; 0,5 Гц. **2.** 16 см.

Задание 32. **2.** 0,8 м. **3.** $3 \frac{\text{М}}{\text{с}}$. **4.** 0.5 с; 2 Гц.

Задание 33. **3.** $\approx 333 \frac{\text{М}}{\text{с}}$.

Задание 35. **1.** 510 м. **2.** 0,5 с.

Задание 40. **1.** 30° ; 60° . **2.** 45° . **3.** 0° .

Задание 41. **3.** 0,8 м; 0,3 м.

Задание 46. **2*.** 0,0005. **3*.** 40 см.

Задание 47.* **1.** 4; 4 см; 25 дптр. **2.** 210 см; 14. **3.** 24 мм.

Задание 48. **1.** 0,01. **3.** 20. **4*.** 60 см; 150 см.

Предметный указатель

- А**мплитуда колебаний 140
Астрономия 7
- В**атт (единица мощности) 105
Вес тела 85
Вещество 6
Волновое движение 145
Волны звуковые 148
Высота звука 151
- Г**ипотеза 10
Главная оптическая ось линзы 188
Главный фокус линзы 189
Гравитационная постоянная 82
Громкость звука 150
- Д**авление 90
Действительное изображение предмета 190
Джоуль (единица работы) 102
Диоптрия (единица оптической силы) 191
Динамометр 69
Длина волны 146
- Ж**ёсткость тела 77
- З**акон всемирного тяготения 82
— Гука 77
— инерции 51
— отражения света 170
— сохранения механической энергии 131
Звуковые колебания 141
- «Золотое правило» механики 118
- И**нертность 54
Инерция 51
Источники света 157
— люминесцирующие 158
— отражённого света 158
— тепловые 158
- К**оэффициент полезного действия 121
— трения скольжения 95
- Л**инза 187
— рассеивающая 188
— собирающая 188
Лупа 204
- М**акромир 28
Масса 54
Математический маятник 142
Мегамир 28
Международная система единиц (СИ) 72
Механическая работа 101
Механическое движение 31
— — вращательное 31
— — колебательное 31
— — поступательное 31
— — равномерное 36
— — равноускоренное 46
Механические колебания 140
Микромир 28

Мнимое изображение предмета 173, 190
 Момент силы 113
 Мощность 104
Наблюдение 9
 Невесомость 86
 Ньютон (единица силы) 67
Оптическая сила линзы 190
 Оптическая плотность среды 179
 Оптический центр линзы 188
 Относительность движения 32
 Отражение звука 153
 Отражение света диффузное 170
 — — зеркальное 170
Паскаль (единица давления) 91
 Период колебаний 141
 Плечо силы 112
 Плотность 59
 Погрешность измерения 18
 — — абсолютная 19
 — — относительная 20
 Полное внутреннее отражение 183
 Полутень 167
 Правило равновесия рычага 112
 Простой механизм 109
 Преломление света 178
 Пружинный маятник 140
 Прямолинейное распространение света 161
 Путь 35
Световой луч 164
 — пучок 163
 Сила 66
 — всемирного тяготения 81
 — равнодействующая 73
 — трения 93

— — качения 94
 — — покоя 94
 — — скольжения 94
 — тяжести 78
 — упругости 75
 Скорость звука 149
 — равномерного движения 37
 — равноускоренного движения 47
 — средняя 44
 Смещение 140
 Спектр белого света 205
Телескоп 11, 177
 Тень 166
 Точечный источник света 166
 Траектория 35
Угол зрения 201
 — полного внутреннего отражения 183
 Ускорение 46
 — свободного падения 80
Физика 6
 Физическая величина 13
 Физическая теория 25
 Физический закон 24
 — прибор 15
 Физическое тело 6
 — явление 6
 Фокусное расстояние 189
Цена деления 16
Частота колебаний 141
Эксперимент 10
 Энергия 124
 — кинетическая 126
 — полная механическая 130
 — потенциальная 127
Явление природы 4

Оглавление

Введение

§ 1. Что изучают физика и астрономия	4
§ 2. Как изучают явления природы	9
§ 3. Физические величины. Единицы физических величин	12
§ 4. Измерение физических величин	14
§ 5. Точность измерений	18
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Измерение длины, объёма и температуры тела	20
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Измерение размеров малых тел	21
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Измерение времени	22
§ 6. Связи между физическими величинами.	
Физические теории	24
§ 7. Физика и техника	25
§ 8. Физика и окружающий нас мир	28

Глава 1. Механические явления

§ 9. Механическое движение и его виды	30
§ 10. Относительность механического движения	32
§ 11. Траектория. Путь	34
§ 12. Равномерное движение. Скорость равномерного движения	36
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Изучение равномерного движения	42
§ 13. Неравномерное движение. Средняя скорость	43
§ 14. Равноускоренное движение. Ускорение	46
§ 15. Инерция	49
§ 16. Масса	52
§ 17. Измерение массы	55
<i>Лабораторная работа № 5</i>	
Измерение массы тела на рычажных весах	57
§ 18. Плотность вещества	58

Лабораторная работа № 6

Измерение плотности вещества твёрдого тела	63
§ 19. Сила	64
§ 20. Измерение силы	68
§ 21. Международная система единиц	71
§ 22. Сложение сил	73
§ 23. Сила упругости	75
§ 24. Сила тяжести	78
§ 25. Закон всемирного тяготения	81
§ 26. Вес тела. Невесомость	85

Лабораторная работа № 7

Градуировка динамометра и измерение сил	87
§ 27. Давление	88
§ 28. Сила трения	93

Лабораторная работа № 8

Измерение коэффициента трения скольжения	99
§ 29. Механическая работа	100
§ 30. Мощность	104
§ 31. Простые механизмы	107
§ 32. Правило равновесия рычага	110

Лабораторная работа № 9

Изучение условия равновесия рычага.	116
§ 33. Применение правила равновесия рычага к блоку. «Золотое правило» механики	117
§ 34. Коэффициент полезного действия	120

Лабораторная работа № 10

Измерение КПД при подъёме тела по наклонной плоскости	122
§ 35. Энергия	124
§ 36. Кинетическая и потенциальная энергия	126
§ 37. Закон сохранения энергии в механике	129
Основное в главе 1	133

Глава 2. Звуковые явления

§ 38. Звук. Источники звука	136
§ 39. Колебательное движение	139
§ 40. Период колебаний маятника	142
§ 41. Волновое движение	144
§ 42. Длина волны	146
§ 43. Звуковые волны. Скорость звука	148
§ 44. Громкость и высота звука	150

§ 45. Отражение звука	153
Основное в главе 2	155

Глава 3. Световые явления

§ 46. Источники света	157
§ 47. Прямолинейное распространение света	160

Лабораторная работа № 11

Наблюдение прямолинейного распространения света	162
--	-----

§ 48. Световой пучок и световой луч	163
§ 49. Образование тени и полутени	166
§ 50. Отражение света	168

Лабораторная работа № 12

Изучение явления отражения света	171
--	-----

§ 51. Изображение предмета в плоском зеркале	172
§ 52*. Вогнутые зеркала и их применение	175
§ 53. Преломление света	178

Лабораторная работа № 13

Изучение явления преломления света	182
--	-----

§ 54. Полное внутреннее отражение	183
§ 55*. Волоконная оптика	186
§ 56. Линзы, ход лучей в линзах	187

Лабораторная работа № 14

Изучение изображения, даваемого линзой	192
--	-----

§ 57*. Формула линзы	194
§ 58. Фотоаппарат. Проекционный аппарат	196
§ 59. Глаз как оптическая система	199
§ 60. Очки, лупа	202
§ 61. Разложение белого света в спектр	205
§ 62. Сложение спектральных цветов	208
§ 63. Цвета тел	209
§ 64*. Зрительные иллюзии	212

Основное в главе 3	215
Ответы к заданиям	217
Предметный указатель	219

Учебное издание

Пурышева Наталия Сергеевна
Важеевская Наталия Евгеньевна

ФИЗИКА

7 класс

Учебник

Центр физики и астрономии
Ответственный за выпуск *И. Г. Власова*
Ответственный редактор *Л. Ю. Нешумова*
Оформление *О. В. Беловодовой*
Художник *Н. А. Николаева*
Художественный редактор *М. В. Мандрыкина*
Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная вёрстка *Н. В. Поляковой*
Корректор *Г. И. Мосякина*

Подписано в печать 21.09.2021. Формат 70 × 90/16.

Гарнитура «Школьная». Усл. печ. л. 21,06.

Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация, 127473,

г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — **vopros@prosv.ru**.