

Владимир СИРОТЮК

# Физика 8



ББК 22.3я721  
С40

*Рекомендовано Министерством образования и науки Украины  
(приказ Министерства образования и науки Украины  
от 17 марта 2008 г., № 179)*

**Издано за счёт государственных средств. Продажа запрещена.**

*Переведено с издания: В. Д. Сиротюк. Фізика: підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закладів. — К.: Зодіак-ЕКО, 2008. Переводчик К. А. Дмитренко*

Ответственные за подготовку учебника к изданию:

**Е. В. Хоменко**, главный специалист Министерства образования и науки Украины;  
**И. А. Юрчук**, методист высшей категории Института инновационных технологий  
и содержания образования Министерства образования и науки Украины

## **ТВОРЧЕСКАЯ ГРУППА СОЗДАТЕЛЕЙ УЧЕБНИКА**

**Юрий Кузнецов** — руководитель проекта, автор концепций: структуры, дизайна;  
**Владимир Сиротюк** — автор текста и методического аппарата;  
**Олег Костенко** — заместитель руководителя проекта;  
**Константин Дмитренко** — редактор-организатор;  
**Наталья Демиденко** — контрольное редактирование;  
**Андрей Виксенко** — разработчик макета, художественного оформления,  
художник обложки;  
**Валентина Максимовская** — организатор производственного процесса;  
**Галина Кузнецова** — экономическое сопровождение проекта;  
**Роман Костенко** — маркетинговые исследования учебника;  
**Андрей Кузнецов** — мониторинг апробации учебника

© Издательство «Зодіак-ЕКО». Все права защищены. Никакие часть, элемент, идея, композиционный подход этого издания не могут быть скопированы или воспроизведены в любой форме и любыми способами — ни электронными, ни фотомеханическими, а именно ксерокопирования, записи или компьютерного архивирования, — без письменного разрешения издателя.

ISBN 978-966-7090-60-9 (укр.)  
ISBN 978-966-7090-63-0 (рус.)

© В. Д. Сиротюк, 2008  
© Перевод. К. А. Дмитренко, 2008  
© Издательство «Зодіак-ЕКО», 2008  
© Художественное оформление. А. Н. Виксенко, 2008  
© Концепции: структуры, дизайна. Ю. Б. Кузнецов, 2008



# ОГЛАВЛЕНИЕ

Юные друзья! ..... 6

## Глава 1.

## 1. МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

§ 1.	Механическое движение .....	8
§ 2.	Относительность движения .....	9
§ 3.	Поступательное движение. Траектория. Путь .....	10
§ 4.	Равномерное и неравномерное движение .....	11
§ 5.	Скорость движения и единицы скорости .....	12
§ 6.	Средняя скорость неравномерного движения .....	15
§ 7.	Графическое изображение равномерного движения тела .....	16
	Лабораторная работа № 1. Измерение скорости движения тела .....	18
	Задачи и упражнения .....	19
§ 8.	Вращательное движение тела. Период обращения .....	23
	Лабораторная работа № 2. Изготовление механического стробоскопа и исследование с его помощью периодических процессов .....	25
§ 9.	Колебательное движение. Амплитуда, период и частота колебаний .....	26
	Лабораторная работа № 3. Исследование колебаний маятника .....	29
	Задачи и упражнения .....	29
§ 10.	Звук. Характеристики звука .....	31
	Лабораторная работа № 4. Изучение характеристик звука .....	34
§ 11.	Скорость распространения звука .....	35
§ 12.	Инфразвук и ультразвук .....	38
§ 13.	Влияние акустических колебаний на живые организмы .....	41
	Задачи и упражнения .....	43
	Историческая справка .....	46
	Проверьте свои знания	
	Контрольные вопросы .....	46
	Что я знаю и умею делать .....	47
	Тестовые задания .....	48

## Глава 2.

## 2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

§ 14.	Взаимодействие тел .....	52
§ 15.	Инерция .....	53
§ 16.	Масса тела .....	55
	Задачи и упражнения .....	58
§ 17.	Сила .....	60
§ 18.	Сила тяжести .....	61
§ 19.	Сила упругости. Закон Гука. Вес тела. Невесомость .....	64
	Задачи и упражнения .....	67
§ 20.	Динамометры. Измерение силы .....	70
	Лабораторная работа № 5. Конструирование динамометра .....	71

	Лабораторная работа № 6. Измерение сил с помощью динамометра. Измерение веса тел .....	72
§ 21.	Сила трения. Коэффициент трения скольжения .....	73
	Лабораторная работа № 7. Измерение коэффициента трения скольжения .....	77
§ 22.	Равнодействующая сила. Движение тела под действием нескольких сил .....	78
	Задачи и упражнения .....	79
§ 23.	Давление и сила давления. Единицы давления .....	81
	Задачи и упражнения .....	84
§ 24.	Давление жидкостей и газов. Закон Паскаля .....	85
	Задачи и упражнения .....	89
§ 25.	Гидравлические машины .....	91
§ 26.	Сообщающиеся сосуды .....	93
§ 27.	Атмосферное давление. Измерение атмосферного давления .....	97
§ 28.	Манометры .....	101
§ 29.	Жидкостные насосы .....	103
	Задачи и упражнения .....	104
§ 30.	Выталкивающая сила .....	108
§ 31.	Условия плавания тел .....	111
§ 32.	Гидростатическое взвешивание .....	116
	Лабораторная работа № 8. Измерение плотности вещества методом гидростатического взвешивания .....	117
	Задачи и упражнения .....	118
	Историческая справка .....	121
	Проверьте свои знания	
	Контрольные вопросы .....	124
	Что я знаю и умею делать .....	124
	Тестовые задания .....	126

## Глава

### 3. РАБОТА И ЭНЕРГИЯ



§ 33.	Механическая работа. Единицы работы .....	130
§ 34.	Мощность. Единицы мощности .....	131
	Задачи и упражнения .....	132
§ 35.	Кинетическая и потенциальная энергии .....	134
§ 36.	Закон сохранения механической энергии .....	138
	Задачи и упражнения .....	140
§ 37.	Машины и механизмы .....	143
§ 38.	Простые механизмы .....	145
§ 39.	Условие равновесия рычага. Момент силы .....	148
	Лабораторная работа № 9. Выяснение условий равновесия рычага .....	150
§ 40.	«Золотое правило» механики .....	151
§ 41.	Коэффициент полезного действия (КПД) механизмов .....	152
	Лабораторная работа 10. Определение КПД наклонной плоскости .....	153
	Задачи и упражнения .....	154
	Историческая справка .....	157
	Проверьте свои знания	
	Контрольные вопросы .....	159
	Что я знаю и умею делать .....	159
	Тестовые задания .....	160



## 4. КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

§ 42.	Тепловое движение. Температура тела. Измерение температуры	164
	Лабораторная работа № 11. Измерение температуры разными термометрами	167
§ 43.	Внутренняя энергия и способы её изменения. Теплообмен	169
§ 44.	Виды теплообмена	172
	Задачи и упражнения	177
§ 45.	Количество теплоты. Удельная теплоёмкость вещества	180
§ 46.	Тепловой баланс	185
	Лабораторная работа № 12. Изучение теплового баланса, при смешивании воды разной температуры	186
	Лабораторная работа № 13. Определение удельной теплоёмкости вещества	187
	Задачи и упражнения	188
§ 47.	Плавление и кристаллизация твёрдых тел.	
	Удельная теплота плавления	190
	Задачи и упражнения	195
§ 48.	Испарение и конденсация жидкостей.	
	Удельная теплота парообразования	196
	Задачи и упражнения	200
§ 49.	Сгорание топлива. Удельная теплота сгорания топлива	202
	Задачи и упражнения	205
§ 50.	Тепловые двигатели. Экологические проблемы использования тепловых двигателей	208
§ 51.	Закон сохранения энергии в механических и тепловых процессах	214
§ 52.	Кoeffициент полезного действия (КПД) нагревателя	215
	Лабораторная работа № 14. Определение коэффицента полезного действия (КПД) нагревателя	216
	Задачи и упражнения	216
	Историческая справка	219
	Проверьте свои знания	
	Контрольные вопросы	221
	Что я знаю и умею делать	221
	Тестовые задания	222

## Вспомогательные материалы

Физические задачи вокруг нас	225
Словарь физических терминов	229
Ответы к задачам и упражнениям	232
Ответы к рубрике «Что я знаю и умею делать»	234
Ответы к рубрике «Физические задачи вокруг нас»	234
Предметно-именной указатель	237

## ЮНЫЕ ДРУЗЬЯ!

Вы только что открыли книгу, с которой будете работать на протяжении учебного года. Надеемся, что она удовлетворит вашу любознательность ко всему богатству явлений в окружающем мире.

Изучая физику в 7 классе, вы, конечно, узнали много нового и интересного о закономерностях окружающего мира, естественных явлениях, о том, как результаты физических исследований применяют в технике и быту, убедились в необходимости внимательной, вдумчивой и систематической работы с учебником. Вы научились работать с физическими приборами, выполнять опыты и проводить наблюдения.

В учебнике, который вы держите в руках, рассматриваются основные закономерности механических и тепловых явлений. Теоретический материал поможет вам понять и объяснить эти явления. Обращайте внимание на слова, выделенные **жирным** шрифтом. Это физические термины, которые надо запомнить. Правила, определения или важные физические законы напечатаны **жирным** шрифтом. Их необходимо помнить и уметь применять.

Учебник содержит много иллюстраций, в нём рассматриваются исследования, которые вы можете выполнить самостоятельно или с помощью учителя, приведены наблюдения, которые помогут глубже понять физический смысл изучаемых явлений. «Историческая справка» в конце каждой главы, без сомнения, расширит ваш кругозор.

В рубрике «Задачи и упражнения» приведены образцы решений важнейших видов задач и упражнений. Учебник содержит задачи, упражнения и вопросы разных уровней сложности: **А** — на закрепление и **Б** — творческого характера.

Проверить свои знания по каждой теме вам помогут «Контрольные вопросы», «Тестовые задания» и задачи «Что я знаю и умею делать», размещённые в конце каждой главы. «Физические задачи вокруг нас» научат вас применять приобретённые знания на практике.

Выполненные вами лабораторные работы обогатят вас углубленным пониманием закономерностей физических явлений и умениями ставить опыты, пользоваться измерительными приборами.

Тем, кто хочет знать больше, будет полезной информация, помещённая в рубрике «Это интересно знать».

Если вы забыли какой-либо физический термин, воспользуйтесь «Словарём физических терминов» в конце учебника.

Выполняя наблюдения и опыты по физике, будьте внимательны, придерживайтесь правил техники безопасности.

Счастливого вам пути к знаниям!

# МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

- Механическое движение
- Относительность движения
- Поступательное движение
- Траектория
- Путь
- Равномерное движение
- Скорость движения тела
- Вращательное движение
- Период обращения
- Колебательное движение
- Амплитуда, период и частота колебаний
- Маятники
- Математический маятник
- Звук
- Характеристики звука
- Скорость распространения звука
- Инфразвук и ультразвук
- Влияние звуков на живые организмы



**\$1****МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ**

Одним из простейших физических явлений является механическое движение тел. Мы видим, что тела, которые нас окружают, движутся или находятся в покое. Двигутся люди, летают птицы и самолёты, плавают рыбы и т. п. Неподвижны деревья, дома, столбы линий электропередачи. Каким образом мы определяем каждый раз, движется тело или нет, особенно, когда оно далеко от нас и мы, например, не слышим рабочего шума двигателя автомобиля и не видим, вращаются ли его колёса?

• **Наблюдение.** Проследим за положением автомобиля на дороге относительно какого-то неподвижного предмета, например, дерева на обочине. Если расстояние автомобиля от него со временем изменяется, то приходим к выводу, что автомобиль движется. Если изменений в положении автомобиля относительно дерева нет, то говорим, что автомобиль не движется, т. е. находится в состоянии покоя.

Так же определяем, движется или находится в состоянии покоя поезд, пароход или любое тело.

**Изменение положения тела со временем относительно других тел называют механическим движением.**

Примерами механического движения являются движение планет вокруг Солнца, туч в небе, воды в реках и океанах, разных частей машин и станков, людей, животных, полёт птиц.

*А какую роль играют размеры тела при описании его движения?* В некоторых случаях без уточнения размеров тела и его частей обойтись невозможно. Например, когда автомобиль заезжает в гараж, то размеры гаража и автомобиля для водителя будут иметь наибольшее значение. Но бывает немало таких ситуаций, когда размерами тела пренебрегают. Если, например, упомянутый автомобиль движется из Киева в Полтаву и нужно рассчитать время его движения, то нам безразлично, каковы его размеры.

Если размеры тела намного меньше расстояния, которое оно проходит за время движения, то для упрощения исследования этого движения размерами тела можно пренебречь, т. е. заменить реальное протяжённое тело на его физическую модель — **материальную точку**. Материальная точка — это объект без размеров подобно геометрической точке, который имеет массу исследуемого тела.

В дальнейшем в зависимости от условий движения исследуемого тела будем считать его или материальной точкой, или состоящим из совокупности материальных точек.

**ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. Что называют механическим движением?
2. Приведите примеры механических движений.
3. В каких случаях тело можно рассматривать как материальную точку?
4. Можно ли считать материальной точкой земной шар?



## **\$2** ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ

Вы уже знаете, что механическое движение — это изменение положения тела со временем относительно других тел. Лодка, например, движется относительно берега реки или озера, автомобиль — относительно дороги, человек — относительно деревьев или домов, резец токарного станка — относительно основания станка.

**Движение тел всегда относительно. Все тела природы находятся в движении, поэтому любое движение или покой является относительным, т. е. состояние тела зависит от того, относительно какого тела это состояние рассматривают.**

• **Наблюдение 1.** Представим пассажира, едущего в вагоне поезда. Что можно сказать о механическом состоянии пассажира? Его сосед по вагону скажет, что он неподвижен, так как сидит на месте, а пешеход, мимо которого движется поезд, уверяет, что пассажир движется мимо него. Каждый из них прав: сосед по вагону рассматривает положение пассажира относительно предметов в вагоне, а пешеход — относительно железнодорожного полотна.

В связи с тем, что оба наблюдателя рассматривали положение пассажира относительно разных предметов, они и пришли к разным выводам.

• **Наблюдение 2.** Пассажир сидит в закрытом вагоне, где он видит только его стены и закрытое окно. Сможет ли он сказать, в каком состоянии находится вагон? Если вагон будет медленно двигаться без толчков, поворотов и грохота, то невозможно определить, движется вагон или нет. Надо подойти к окну и посмотреть, изменяется ли со временем положение вагона относительно зданий или других неподвижных предметов вдоль железнодорожного полотна, только после этого можно сказать, движется вагон или стоит на месте.

• **Наблюдение 3.** Вы сидите в пассажирском вагоне во время остановки. Рядом стоит соседний поезд, который заслоняет от вас станционные сооружения. Каждый может припомнить, что когда вдруг окна соседнего поезда начнут «проплывать» мимо вас, в первый момент кажется, что это тронулся ваш вагон, только со временем, когда увидите, что вокзал стоит на месте, осознаете свою ошибку: на самом деле пошёл соседний поезд.

Эта ошибка естественна, причина её состоит в относительности движения и покоя: относительно Земли ваш вагон находится в покое, соседний поезд — движется, если же считать, что он находится в покое, то из-за изменения относительного положения кажется, что тронулся ваш вагон. Таким образом, чтобы определить, движется тело или нет, мы должны указать, относительно какого тела рассматриваем движение.

**Тело, относительно которого рассматривают движение, называют телом отсчёта.**

Тела отсчёта избирают произвольно. При изучении разных движений за тело отсчёта будем принимать Землю, пароход, дом, поезд или любое другое тело, неподвижное относительно Земли, например стол физического кабинета, на котором будем выполнять опыты.

Итак, чтобы говорить о том, движется тело (например, грузовой автомобиль) или находится в состоянии покоя, нужно сначала выбрать тело отсчёта, а потом посмотреть, изменяется ли относительно него положение рассматриваемого тела.

Свойства механического движения, в частности относительность движения и покоя, изучал знаменитый итальянский учёный Галилео Галилей.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют относительным?
2. Какое тело называют телом отсчёта? Приведите примеры.
3. Как определить, движется тело или находится в состоянии покоя?
4. Кто находится в движении: пассажир, едущий в автобусе, или человек, стоящий на автобусной остановке?
5. Что на самом деле движется: Земля вокруг Солнца или Солнце – вокруг Земли?

## §3

### ПОСТУПАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТРАЕКТОРИЯ. ПУТЬ

В природе, технике, быту существует много видов механического движения тел. Простейшим из них является **поступательное движение**.

Движение автомобиля на прямолинейном участке дороги, движение поршня в цилиндре двигателя автомобиля, движение ящика, который мы выдвигаем из стола – это примеры поступательного движения. Во время поступательного движения любое выделенное направление в движущемся теле, например планка в выдвижном ящике, остаётся параллельным своему исходному положению. На рисунке 1 показано поступательное движение карандаша – видим, что в разные моменты движения карандаши параллельны.

Если непрерывно фиксировать в пространстве положения определённой материальной точки подвижного тела, то получим линию, которую называют **траекторией** движения.

**Траектория** – это мнимая линия, которую описывает материальная точка во время движения.

На рисунке 1 показаны траектории трёх точек карандаша при поступательном движении – видим, что все они имеют одинаковую форму и длину. Поэтому чтобы изучить поступательное движение тела, достаточно изучить движение одной из его точек.

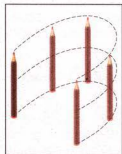


Рис. 1



Рис. 2

Когда материальная точка движется вдоль прямой, то такое движение называют **прямолинейным**, а если траектория точки кривая, – **криволинейным**.

Часто траекторию тела можно наблюдать наглядно – карандаш во время письма оставляет след на бумаге – траекторию движения кончика грифеля (рис. 2). Траекторию полёта самолёта определяем по его следу в небе (рис. 3).

Форма траектории зависит от выбора тела отсчёта. Например, относительно Земли траектория движения Луны является окружностью, а относительно Солнца — линией сложной формы.

В дальнейшем, если не указаны другие тела отсчёта, будем рассматривать движение тел относительно Земли.

Когда тело движется по своей траектории, то длина её пройденного участка со временем увеличивается.



Рис. 3

**Длину траектории, которую тело описывает во время движения за определённый интервал времени, называют путём.**

Путь обозначают малой латинской буквой  $l^*$ . Единицей пути в СИ является **один метр (1 м)**.

На практике пользуются также другими единицами пути:

1 м = 100 см = 1000 мм;

1 км = 1000 м = 100 000 см = 1 000 000 мм;

1 см = 0,01 м;

1 мм = 0,001 м.



#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют поступательным? Приведите примеры поступательного движения.
2. Что такое траектория?
3. Что такое путь? Какие единицы пути вы знаете?



## РАВНОМЕРНОЕ И НЕРАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ

Если тело за первую секунду прошло путь 5 м, за вторую — снова 5 м, за третью — 5 м и т. д., т. е. за каждую любую секунду тело проходит одинаковый путь, то такое движение является равномерным.

♦ **Опыт.** Возьмём стеклянную трубку длиной 1 м и диаметром 1 см (рис. 4). Закроем её с обеих сторон пробками, предварительно налив в неё воды так, чтобы в ней остался воздушный пузырёк. Теперь установим трубку вертикально или с наклоном так, чтобы в начальный момент воздушный пузырёк был расположен в нижнем конце трубки. Пузырёк начнёт медленно всплывать, и будет удобно наблюдать за характером его движения. В результате опыта убеждаемся, что пузырёк воздуха будет проходить одинаковые отрезки пути за одинаковые интервалы времени. Итак, движение пузырька является равномерным.

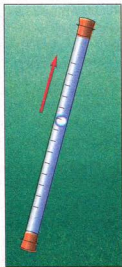


Рис. 4

\* В научной и учебной литературе путь ещё обозначают малой латинской буквой  $s$ .

**Равномерным движением** называют такое движение, при котором тело за любые одинаковые интервалы времени проходит одинаковый путь.

Примером равномерного движения является движение точки земной поверхности при обращении Земли вокруг своей оси. Равномерным можно считать движение точек часовых стрелок, равномерно может двигаться автомобиль по прямой и ровной дороге.

Большинство движений в природе являются неравномерными. Например, автобус, отходя от остановки, за одинаковые интервалы времени проходит всё больший путь, а приближаясь к остановке, — наоборот. Бегун, принимая участие в соревнованиях, затрачивает на прохождение одинаковых кругов разное время. Движение автобуса и бегуна — это примеры неравномерного движения.

**При неравномерном движении** тело за одинаковые интервалы времени проходит неодинаковый путь.



#### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют равномерным? Приведите примеры движения, близкого к равномерному.
2. Какое движение называют неравномерным? Приведите примеры неравномерного движения.

### §5

## СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ И ЕДИНИЦЫ СКОРОСТИ

Лодку, равномерно движущуюся по поверхности моря, обгоняют дельфины, плывущие также равномерно. Чем различаются эти равномерные движения: лодки и дельфинов? Их отличие состоит в том, что дельфины движутся быстрее лодки. Самолёт движется быстрее поезда, но медленнее, чем искусственный спутник Земли. А это означает, что на протяжении одинакового интервала времени дельфины проплывают больший путь, чем лодка, самолёт пролетает больший путь, чем проходит поезд, а спутник — больший путь, чем самолёт.

Движения лодки, дельфинов, поезда, самолета и спутника различаются их **скоростью**. Говорят, что то тело, которое за единицу времени проходит больший путь, движется с большей скоростью.

**Скорость равномерного движения тела** — это физическая величина, которая показывает, какой путь проходит тело за единицу времени.

Например, если за каждый час автомобиль проезжает 60 км, а самолет пролетает 600 км, то говорят, что скорость движения автомобиля равняется 60 км в час, а скорость движения самолёта — 600 км в час.

Скорость движения тела обозначают малой латинской буквой  $v$ . Единицей скорости в СИ является один метр в секунду ( $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ).

$1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  – это скорость движения тела, при котором оно за 1 с проходит путь 1 м.

Применяют ещё такие единицы скорости движения тела:

$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 1000 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Чтобы определить скорость равномерного движения тела, нужно путь, пройденный телом за определённый интервал времени, разделить на этот интервал:

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

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

где  $v$  — скорость движения тела;  $l$  — путь, пройденный телом;  $t$  — время движения тела.

В отличие от других физических величин значения скоростей лежат в определённых пределах: от 0 (когда тело находится в покое) до скорости распространения света в безвоздушном пространстве, которая равна  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Скорость обычной ходьбы человека равна  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Во время бега на длинные дистанции спортсмен развивает скорость до  $7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а на короткие — до  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Велосипедист может ехать со скоростью  $14 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . В воде пловец движется со скоростью  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Эти значения скоростей незначительны по сравнению со скоростью представителей животного мира. Если бы ноги спортсмена-бегуна двигались так же быстро, как ноги муравья, то он развил бы скорость до  $1500 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Наибольшая скорость движения человека втрое меньше скорости движения гепарда. В воде человек плавает в 18 раз медленнее, чем самый быstroходный житель океана — меч-рыба. Голубой кит, масса которого равна 130 т, может развивать в воде скорость до  $37 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Для сравнения укажем, что моторная лодка может двигаться со скоростью  $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ .

Однако человек создал транспортные средства, развивающие значительные скорости. Гепард уже не может соревноваться с легковым автомобилем, поездом или мотоциклом. Специальные гоночные автомобили развивают скорость до  $284 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  ( $1022,4 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ). Вертолёты и самолёты значительно опережают золотистого орла — самую быструю из птиц.

Космическим ракетам, летящим к другим планетам, сообщают скорости от 10 до  $17 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .



Рис. 5

Скорость движения тела характеризуется не только числовым значением, но и направлением. Например, чтобы узнать, где будет находиться через 5 ч путешествия турист, вышедший из Киева, нужно знать не только с какой скоростью он движется, а и в каком направлении (направление скорости).

Величины, зависящие от направления в пространстве, называют векторными величинами, или векторами.

**Скорость движения тела является векторной величиной.**

На рисунках вектор скорости изображают стрелкой, направление которой совпадает с направлением скорости, а длина равна числовому значению скорости в определённом масштабе (рис. 5).

Зная скорость равномерного движения тела, можно определить путь, который оно проходит за определённое время. Пусть, например, велосипедист движется со скоростью  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Это означает, что за каждую секунду он проезжает 5 м. Поскольку движение велосипедиста равномерное, то за 10 с он преодолеет путь, в 10 раз больший, т. е.  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  умножим на 10 с и получим 50 м.

**Чтобы определить путь, который тело проходит при равномерном движении, нужно скорость движения тела умножить на время его движения:**

$$l = vt$$

Зная путь и скорость равномерного движения тела, можем определить время его движения. Например, за какое время пловец переплывёт озеро шириною 200 м, если он движется со скоростью  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?

За 1 с он проплывает 2 м. Чтобы определить, сколько секунд он затратит на то, чтобы проплыть 200 м, нужно узнать, сколько раз в 200 м содержится 2 м. Для этого 200 разделим на 2 и получим 100. Время, за которое пловец переплывёт озеро, равно 100 с, или 1 мин 40 с.

**Чтобы определить время движения тела, нужно пройденный телом путь разделить на скорость движения тела:**

$$t = \frac{l}{v}$$

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Американская ящерица бежит по воде, как по твёрдой земле, со скоростью  $11 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Если бы это мог сделать человек, то его ступни размерами напоминали бы раскрытые зонтики, а за секунду он должен был бы делать 20 шагов.
- В Австралии каждый год проводятся соревнования, в которых принимают участие необычные бегуны – земляные червяки – самые быстрые безногие бегуны (ползуны), перемещающиеся со скоростью  $15 \frac{\text{м}}{\text{ч}}$ .





### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем отличаются один от другого равномерные движения пловца, гепарда, орла и самолёта?
2. Что показывает скорость равномерного движения тела?
3. Как определить скорость, зная пройденный путь и время движения тела?
4. Назовите единицы скорости движения тела.
5. Скорость движения тела является векторной величиной. Что это означает?

## \$6

### СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ НЕРАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ

Если тело движется неравномерно, то за одинаковые интервалы времени оно проходит неодинаковые пути. Из этого можем сделать вывод, что скорость движения тела за каждый интервал времени изменяется.

Значения скоростей движения в живой и неживой природе лежат в широком интервале, некоторые из них приведены в таблице 1.

Таблица 1

Скорости движения в природе,  $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

Улитка	0,0014	Звук в воздухе (при 0 °C)	331
Муха	5	Луна вокруг Земли	1 000
Скворец	20	Земля вокруг Солнца	30 000
Страус	22	Свет в вакууме	300 000 000

Не все указанные в табл. 1 движения являются равномерными. Лишь звук и свет при определённых условиях распространяются с постоянной скоростью. Скорости остальных тел изменяются во время движения. Поэтому для них указаны средние или максимально достижимые значения.

Во время неравномерного движения тела его скорость может значительно изменяться в разных точках траектории, но для упрощения часто пользуются средней скоростью неравномерного движения на определённом участке пути или за определённое время движения, условно полагая его равномерным.

**Средняя скорость движения тела определяется отношением пройденного им пути к полному времени движения:**

$$v_c = \frac{l}{t},$$

где  $v_c$  — средняя скорость движения тела;  $l$  — весь пройденный телом путь;  $t$  — полное время движения тела.

Конечно, полученные при этом значения средней скорости могут не совпадать со скоростью движения тела на отдельных участках траектории. При неравномерном движении тело на одних участках имеет меньшую скорость, на других — большую. Например, самолёт, начиная взлёт, увеличивает свою скорость, потом летит с определённой постоянной скоростью, перед посадкой уменьшает скорость движения.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Если двигаться равномерно по прямой (скорость указана в скобках), то путешествие на Луну продолжалось бы:

- пешком ( $5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ) — 8 лет 280 дней;
- на велосипеде ( $30 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ) — 1 год 163 дня;
- на автомобиле ( $100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ) — 160 дней;
- на космическом корабле ( $28\,000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ) — 13 ч 43 мин.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какую скорость движения тела имеют в виду, когда говорят, что скорость движения самолёта равна  $700 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ?
2. Как определить среднюю скорость неравномерного движения тела?
3. Как определить пройденный телом путь, зная скорость и время его движения?
4. Как определить время движения тела, зная пройденный им путь и скорость движения? Объясните на примере.



## ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ РАВНОМЕРНОГО ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

Как известно, все тела природы находятся в механическом движении. Они могут двигаться равномерно или неравномерно по множеству разных траекторий, которые могут быть очень сложными. Далее будем рассматривать простейший для исследования и описания вид механического движения тел — прямолинейное равномерное движение.

Прямолинейное движение — это движение тела, траекторией которого является прямая линия. Примером прямолинейного движения может быть движение автомобиля на участке шоссе, где нет подъёмов, спусков и поворотов.

**Прямолинейным равномерным движением называют такое движение, при котором тело за любые равные интервалы времени проходит одинаковые пути по прямолинейной траектории.**

Прямолинейное равномерное движение тела очень удобно представлять и изучать в виде графиков зависимости пройденного телом пути от времени его движения (график движения) и зависимости скорости тела от времени его движения (график скорости).

Рассмотрим пример. Пусть автомобиль движется из Киева в Одессу со скоростью  $100 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а мотоциклист — со скоростью  $50 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Для того чтобы постро-

ить график зависимости пройденного автомобилем пути от времени движения, нужно воспользоваться формулой  $l = vt$  и составить такую таблицу.

Время, $t$ , ч	Путь, $l$ , км	
	Автомобиль	Мотоцикл
0	0	0
1	100	50
2	200	100
3	300	150

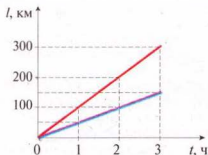


Рис. 6

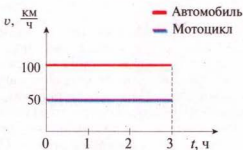


Рис. 7

Далее на вертикальной оси откладываем в масштабе значения пути  $l$ , а на горизонтальной оси — соответствующие им значения времени движения  $t$ , наносим точки на плоскость и строим графики движения (рис. 6).

Как видно из рисунка, график зависимости пройденного телом пути от времени, или график движения, — это прямая линия, которая проходит через начало координат и направлена под углом к оси времени, причём угол наклона к оси времени тем меньший, чем меньше скорость движения тела. Скорость движения автомобиля больше скорости движения мотоциклиста, поэтому угол наклона графика движения автомобиля к оси времени больший.

Чтобы построить график зависимости скорости движения тела от времени движения, или график скорости, нужно на вертикальной оси отложить значения скорости  $v$ , а на горизонтальной оси — соответствующие значения времени движения  $t$ , нанести точки на плоскость и провести через них сплошную линию. Для автомобиля и мотоциклиста получим две прямые линии, параллельные оси времени (рис. 7). Это наглядно показывает, что равномерное движение является движением с постоянной (неизменной во времени), скоростью.

Теперь рассмотрим другой случай. Пусть велосипедист двигался 5 с со скоростью  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а следующие 5 с — со скоростью  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Построим графики зависимости пройденного велосипедистом пути и скорости его движения от времени движения. Построение выполняем, как и в предыдущем примере, составив таблицу:

Время, $t$ , с	0	5	10
Путь, $l$ , м	0	50	75

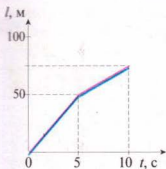


Рис. 8

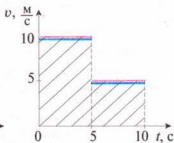


Рис. 9

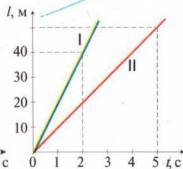


Рис. 10

Из графика движения (рис. 8) видно, что на пятой секунде велосипедист уменьшил скорость движения, поэтому и наклон прямой уменьшился. Графиком такого движения является ломаная.

График зависимости скорости движения от времени (рис. 9) имеет вид ступенчатой линии — «ступеньки», которая образовалась также из-за уменьшения вдвое скорости движения велосипедиста на пятой секунде.

Рассмотрим заштрихованную фигуру под графиком скорости: она состоит из двух прямоугольников. Оказывается, что, определяя площадь этих прямоугольников как произведение их высоты и длины, мы умножаем скорость движения велосипедиста на время его движения и определяем пройденный им путь на обоих участках:

$$l = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} + 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} = 75 \text{ м}.$$

Из расчётов видно, что результат совпадает с данными в таблице.

Как видим, по графикам движения и скорости можно полностью определить вид, скорость, время и путь движения тела.

Рассматривая графики движения, приведённые на рисунке 10, делаем вывод, что это графики прямолинейного равномерного движения двух тел I и II, причём скорость тела I больше скорости тела II. По графику определяем, что скорость движения тела I равна  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а тела II —  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как изобразить равномерное движение тела?
2. Что можно определить с помощью графика зависимости скорости движения тела от времени?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ТЕЛА

- **Цель работы:** научиться измерять скорость движения тела.
- **Приборы и материалы:** измерительный цилиндр, резиновая пробка, пластилин, дистиллированная вода, секундомер.

## Ход работы

1. Из пластилина изготовьте шарик диаметром чуть меньше внутреннего диаметра измерительного цилиндра.
2. Поместите шарик в измерительный цилиндр и налейте в него до самого верха дистиллированную воду. Плотнo закройте цилиндр резиновой пробкой (см. рисунок 11).
3. Переверните измерительный цилиндр, шарик будет медленно опускаться. По делениям на цилиндре зафиксируйте положение шарика в определённые моменты времени, которые вы измерите секундомером. Полученные результаты запишите в таблицу.
4. Определите скорость движения шарика. Укажите, какое это движение.
5. Измените наклон цилиндра. Измерьте скорость движения шарика в этих случаях. Укажите, как движется шарик.
6. Сделайте выводы.



Рис. 11

Дополнительное задание. Постройте графики движения шарика для разных положений цилиндра.

Номер опыта	Измеряемая величина		
	$l$ , см	$t$ , с	$v$ , $\frac{\text{см}}{\text{с}}$
1			
2			
3			

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

## ► Решаем вместе

1. Если велосипедист за первые 5 мин проехал 5 км, а за следующие 10 мин — 10 км, то можно ли считать такое движение равномерным?

Ответ: да, так как велосипедист двигался с одинаковой скоростью —  $1 \frac{\text{км}}{\text{мин}}$ .

2. Легковой автомобиль проходит расстояние 144 км за 2 ч. Определить скорость движения автомобиля, считая его движение равномерным.

Дано:  
 $l = 144 \text{ км}$   
 $t = 2 \text{ ч}$   
 $v = ?$

Решение

Для расчета скорости движения автомобиля

используем формулу:  $v = \frac{l}{t}$ .

$$v = \frac{144 \text{ км}}{2 \text{ ч}} = 72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Переведём километры в метры, а часы — в секунды:

$$144 \text{ км} = 144\,000 \text{ м}; \quad 2 \text{ ч} = 7200 \text{ с}.$$

$$\text{Тогда } v = \frac{144\,000 \text{ м}}{7200 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: скорость движения автомобиля равна  $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , или  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

### Уровень А

- Дополните предложение:
  - Изменение положения тела относительно других тел со временем называется ... движением.
  - Тело, относительно которого рассматривается движение, называется ... отсчёта.
  - ... движением называется такое движение, при котором тело за любые ... интервалы времени проходит одинаковые пути.
- Из описанных явлений выберите те, которые являются примерами механического движения: ласточка ловит насекомых в воздухе; светится электрическая лампа; ветер поднял вверх лист бумаги.
- Пассажир сидит в движущемся вагоне. Относительно каких тел пассажир находится в покое: а) вагона; б) Земли; в) колёс вагона; г) других пассажиров, которые неподвижно сидят в вагоне?
- Лодка плывёт по реке. Почему в тумане, когда не видно берегов, нельзя определить направление движения лодки?
- Двигается или стоит автомобиль, изображённый на рисунке 12?
- Для транспортировки зерна в хранилищах, угля и руды — в шахтах и во многих других случаях используют ленточные транспортёры. В каком состоянии находится уголь относительно ленты транспортёра? Относительно катков? Какова траектория движения отдельных кусков угля?
- Какова траектория движения подводной лодки по поверхности моря (рис. 13)?
- Какие движения можно считать равномерными, а какие — неравномерными: движение эскалатора метро; движение самолёта по полосе аэродрома; движение электропоезда от станции и на перегоне; движение автомобиля по шоссе; падение капель дождя?
- Автомобиль за 1 ч проходит 60 км, за 30 мин — 30 км, за 15 мин — 15 км. Как движется автомобиль?
- Земля движется вокруг Солнца со скоростью  $108\,000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Выразите эту скорость в метрах в секунду.



Рис. 12



Рис. 13



11. На прямолинейном участке пути товарный поезд движется со скоростью  $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а пассажирский —  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Одинаково ли движутся поезда?
12. Кальмар (рис. 14) быстро движется в толще воды подобно ракете, с силой выбрасывая из рта набранную воду. Какую скорость он развивает, если проплывает 160 м за 10 с?
13. С какой средней скоростью двигался автомобиль, если за 20 мин он проехал по улицам города 12 км? Почему в данном случае говорим о средней скорости автомобиля?
14. Какова цена деления шкалы спидометра — прибора для измерения скорости движения автомобиля, изображённого на рисунке 15? Какую скорость движения он фиксирует?



Рис. 14



Рис. 15

### Уровень Б

15. В книге «В звездные миры» В. Бережного так описан выход астронавта из космического корабля для ремонта антенны: «Ему показалось, что ракета висит на одном месте совсем неподвижно!.. Но как же это так — ракета мчится со скоростью 12 километров в секунду — только подумать! — а движения незаметно». Почему астронавт не замечал движения ракеты? В каком состоянии относительно ракеты находился астронавт?
16. На столе в вагоне движущегося поезда лежит книга. В движении или в состоянии покоя находится книжка относительно: а) стола; б) рельсов; в) моста через реку? Как изменятся ответы на вопрос, если поезд будет стоять на станции?
17. Какова траектория движения шарика, выпущенного из руки? Какова траектория этого шарика, брошенного вертикально вверх?
18. Прямолинейным или криволинейным является движение: маятника в часах; ящика по доске, поставленной под углом к горизонту; груза на ленте транспортера; поршня автомобильного двигателя; Земли вокруг Солнца; космического корабля, летящего по направлению к Марсу?
19. Какой вид имеет траектория движения конца стрелки часов?
20. Трубка длиной 100 см наполнена водой. В ней может свободно перемещаться пузырёк воздуха. Скорость движения пузырька зависит от наклона трубки. В первом случае пузырёк проходит 10 см за 1 с, 20 см — за 2 с, 40 см — за 4 с, 60 см — за 6 с; во втором — 8 см за 2 с, 20 см — за 5 с, 85 см — за 25 с. В каком случае движение пузырька является равномерным?
21. Автобус, двигаясь равномерно, проехал 4,5 км за 5 мин, а легковой автомобиль — 300 м за 10 с. Какой транспорт двигался быстрее?
22. Определите собственную среднюю скорость во время ходьбы. Для этого пройдите спокойным шагом 60 или 100 м и зафиксируйте время движения.



Рис. 16

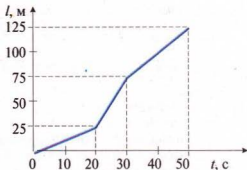


Рис. 17

23. В 1985 году на самолёте «Вояджер» (рис. 16) впервые был осуществлён полёт вокруг Земли без посадки и дозаправки горючим. Самолёт преодолел расстояние с крейсерской скоростью  $126 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . На протяжении какого времени самолёт находился в воздухе?
24. Первый космонавт Юрий Гагарин облетел Землю на космическом корабле «Восток» за 89 мин 6 с со средней скоростью  $7,8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Какой путь преодолел космический корабль во время полёта?
25. Зная среднюю длину шага, определите скорость вашего движения. Для этого подсчитайте, сколько шагов вы сделаете на протяжении 1 мин.
26. Во время движения автомобиля стрелка спидометра занимает постоянное положение на отметке «45» его шкалы. Как движется автомобиль в этом случае? В каких единицах измеряет спидометр скорость движения автомобиля?
27. Скорость движения Земли вокруг Солнца равна  $30 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Какой путь пройдёт Земля за один урок (45 мин)?
28. Радиосигналы распространяются со скоростью  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Через какое время наблюдатель на Земле примет радиосигнал, который он послал на Луну и принял после отражения от неё, если расстояние до Луны равно 384 400 км?
29. Из Львова в направлении Киева выехали грузовой и легковой автомобили со скоростями соответственно  $90$  и  $120 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Постройте графики зависимости пройденного ими пути и скорости движения от времени, если они двигались в течение 5 ч.
30. По графику движения тела (рисунок 17) определите: 1) время движения тела; 2) пройденный телом путь; 3) скорость движения тела на каждом из участков. Постройте график зависимости скорости движения тела от времени движения.

## §8 ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА. ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ

До сих пор мы изучали прямолинейное движение тел, хотя в природе и технике часто совершаются более сложные движения тел — криволинейные, когда траекторией тела является кривая линия. Любую кривую линию всегда можно представить как совокупность дуг окружностей разных радиусов (рис. 18). Поэтому, изучив движение материальной точки по окружности, сможем в дальнейшем изучать и любые другие криволинейные движения. Кроме того, из всех возможных криволинейных движений в технике широко применяется вращательное движение деталей машин и механизмов, например вращение шестерён машин и станков, деталей, обрабатываемых на токарных станках, валов двигателей, колес машин, фрез, свёрл и т. п. Любая точка этих деталей движется по окружности. Эти две особенности и обусловили обязательное изучение движения по окружности, а именно — равномерное движение тела по окружности.

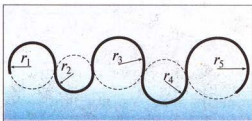


Рис. 18

**Движение материальной точки по круговой траектории с постоянной по значению, но изменяющейся по направлению скоростью, называют равномерным движением по окружности.**

Предположим, что тело равномерно движется по окружности из точки А в точку В (рис. 19). Тогда пройденный им путь — это длина дуги  $l$ , а значение скорости определим по формуле:

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

где  $v$  — скорость движения тела по окружности;  $l$  — пройденный телом путь (длина дуги);  $t$  — время движения тела.

Направление скорости проще всего определить на опыте.

**♦ Опыт 1.** К вращающемуся точильному кругу, прикоснемся железным стержнем. Увидим, что искры из-под стержня летят по касательной к окружности этого круга (рис. 20). Результат будет таким же в любой точке этого круга. Но каждая искра — это раскалённая частичка, оторвавшаяся от круга и летящая с такой же скоростью, какую она имела в последний момент движения вместе с кругом.

Итак, скорость материальной точки при движении по окружности направлена по касательной к ней в любой точке круга (рис. 21), а с учётом представления кривой на

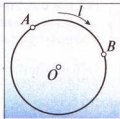


Рис. 19



Рис. 20

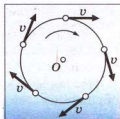


Рис. 21

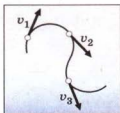


Рис. 22

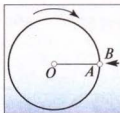


Рис. 23

рисунке 18 этот вывод можно распространить на любые криволинейные движения (рис. 22).

♦ **Опыт 2.** Закрепим на горизонтальной оси  $O$  фанерный диск (рис. 23), на котором проведен радиус  $OA$ . Напротив точки  $A$  поставим указатель  $B$  и будем медленно и равномерно

вращать диск. Увидим, что точка  $A$  с каждым оборотом диска снова появляется напротив указателя  $B$ , т. е. совершает движение, повторяющееся через определенный интервал времени.

**Движения, при которых определенные положения материальной точки повторяются через одинаковые интервалы времени, называют периодическими движениями.**

Равномерное движение по окружности — это периодическое движение. Периодическое движение характеризуют такими величинами, как **период обращения** и **частота обращения**.

**Период обращения** — это интервал времени, в течение которого материальная точка совершает один оборот при равномерном движении по окружности.

Обозначается период обращения большой латинской буквой  $T$ .

Если за время  $t$  материальная точка при равномерном движении по окружности совершает  $N$  оборотов, то период обращения определяется формулой

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

Единицей периода обращения в СИ является одна секунда (1 с).

Если период обращения равняется 1 с, то материальная точка при равномерном движении по окружности осуществляет один оборот за 1 с.

**Частота обращения** определяется числом оборотов, которое материальная точка совершает за единицу времени при равномерном движении по окружности

Обозначается частота обращения малой латинской буквой  $n$ . Если за время  $t$  материальная точка совершила  $N$  оборотов, то, чтобы определить частоту обращения  $n$ , нужно  $N$  поделить на  $t$ , т. е.:

$$n = \frac{N}{t}, \text{ а так как } t = TN, \text{ то } n = \frac{1}{T}.$$

Из последней формулы видно, что частота обращения и период обращения связаны обратной пропорциональной зависимостью, а для

\* В научной и учебной литературе частоту обращения еще обозначают малой греческой буквой  $\nu$  (ню).

определения единицы частоты обращения нужно единицу разделить на единицу периода обращения, т. е. на секунду.

Единицей частоты обращения в СИ является единица, разделённая на секунду ( $1 \frac{1}{с}$ ).  $1 \frac{1}{с}$  — это частота обращения, при котором за 1 с материальная точка совершает 1 полный оборот, двигаясь равномерно по окружности. В технике такую единицу иногда называют одним оборотом в секунду ( $1 \frac{об}{с}$ ), часто применяют также единицу один оборот в минуту ( $1 \frac{об}{мин}$ ).



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют равномерным движением по окружности?
2. Как направлена скорость тела при равномерном движении по окружности?
3. Какое движение называют периодическим? Приведите примеры. Какими величинами его характеризуют?
4. Что называют периодом обращения? Какова его единица в СИ?
5. Что показывает частота обращения? Какова её единица в СИ?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ИЗГОТОВЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО СТРОБОСКОПА И ИССЛЕДОВАНИЕ С ЕГО ПОМОЩЬЮ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

- **Цель работы:** изготовить механический стробоскоп и исследовать периодические процессы.
- **Приборы и материалы:** деревянный стержень, кнопка, лист плотного картона, ножницы, карандаш, циркуль, стробоскопический диск на валу микродвигателя и вентилятор с пометкой.

#### Ход работы

**Стробоскоп** — прибор для исследования периодических процессов.

1. Изготовьте простейший стробоскоп, показанный на рис. 24, а.
2. Вращая стробоскоп, наблюдайте через его прорези за вращением вентилятора с пометкой на лопасти (рис. 24, б). Опишите наблюдаемую картину. Когда вентилятор будет казаться неподвижным? Когда его наблюдаемое вращение будет происходить по часовой стрелке? Против часовой стрелки?
3. Исследуйте вращение стробоскопического диска (рис. 24, в). Опишите наблюдаемое явление. По частоте вращения микродвигателя оцените максимальную частоту вращения изготовленного стробоскопа.
4. Объясните наблюдаемые вами стробоскопические эффекты.

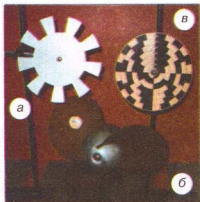


Рис. 24

## §9

## КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ. АМПЛИТУДА, ПЕРИОД И ЧАСТОТА КОЛЕБАНИЙ

Колебательное движение (колебания) — один из наиболее распространённых процессов в природе и технике.

• **Наблюдение.** Под действием ветра колеблются высотные дома и высоковольтные линии электропередачи, совершают колебания маятник заведённых часов, автомобиль на рессорах во время движения. Землетрясения — это колебания земной коры, приливы и отливы — колебания уровня воды в морях и океанах, обусловленные притяжением Луны, удары пульса — результат периодических сокращений сердечной мышцы человека.

Колебательные явления изучает специальный раздел физики — теория колебаний. Знания о колебательных процессах нужны судо- и самолётостроителям, специалистам промышленности и транспорта, конструкторам радиотехнической и звуковой аппаратуры и др.

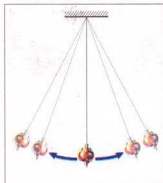


Рис. 25

♦ **Опыт 1.** Для наблюдения и изучения колебаний, а также для применения в разнообразных приборах используют маятники. Простейший маятник — это шарик, подвешенный на нити к какой-либо опоре. Если шарик отклонить от исходного положения равновесия и отпустить, то он начнёт двигаться слева направо, справа налево до тех пор, пока колебания не прекратятся (рис. 25). В физике маятник подобной конструкции называют **математическим маятником**.

*Каковы же самые характерные признаки колебательных движений?* Проведённый опыт даёт возможность сделать вывод, что во время колебаний определённые состояния движения тела повторяются или почти повторяются. Сделав

одно полное колебание, т. е. пройдя путь от крайнего левого положения к крайнему правому и назад, тело, подвешенное на нити, и в дальнейшем будет повторять такое же движение. Мы уже знаем, если движение тела повторяется со временем, то его называют периодическим.

**Механические колебания** — это такое движение, при котором положение и скорость движения тела точно или приблизительно повторяются через определённые интервалы времени.

Повторяются движения поршня в двигателе автомобиля, лодок на волнах, стержня отбойного молотка, сита сортировочной установки. Всё это примеры механических колебаний.

Математический маятник состоит из нескольких тел, взаимодействующих между собой: Земля и шарик, шарик и нить, нить и опора в точке подвеса. Если действием других тел на маятник можно пренебречь, то говорят, что тела в составе маятника образуют колебательную систему. Если вывести колебательную систему из состояния равновесия — отклонить шарик из



исходного положения и отпустить, то далее колебания будут продолжаться без внешнего вмешательства за счёт взаимодействия между телами системы.

**Колебания, происходящие в колебательной системе за счёт взаимодействия между образующими её телами, называют свободными.**

Рассмотренные нами колебания шарика на нити являются примером свободных колебаний.

А какой вид имеют колебания и какими физическими величинами они характеризуются?

**♦ Опыт 2.** Возьмём маятник, в котором вместо шарика подвешен грузик со сквозным отверстием. С помощью такого устройства можно записывать колебания (рис. 26). Установим в отверстии грузика фломастер, выведем грузик из положения равновесия и отпустим. Маятник колеблется, а фломастер, касаясь листа картона, который мы равномерно протягиваем во время колебаний, оставляет на нём след.

В результате опыта получаем график колебаний маятника в виде начерченной линии (рис. 27), т. е. зависимость отклонения маятника от времени. Позже будем подробно изучать эту важную волнистую линию, называемую **синусоидой**.

Как видно из рисунка 27, маятник в определенный момент отклоняется от положения равновесия на некоторое максимальное расстояние. Это отклонение маятника назвали **амплитудой колебаний**.

**Амплитуда колебаний – это наибольшее отклонение тела от положения равновесия.**

Амплитуду колебаний обозначают большой латинской буквой  $A$ . Её единицей в СИ является **один метр (1 м)**. Значение амплитуды зависит только от того, на какое расстояние тело было отведено от положения равновесия до начала колебаний.

Маятник выполняет одно полное колебание за определённое время. Продолжительность одного полного колебания называют **периодом колебаний**.

**Период колебаний – это наименьший интервал времени, через который определённое состояние движения тела полностью повторяется.**

Период колебаний обозначают большой латинской буквой  $T$ . Его единицей в СИ является **одна секунда (1 с)**.

Если за время  $t$  произошло  $N$  полных колебаний, то, чтобы определить период  $T$ , нужно  $t$  поделить на  $N$ , т. е.:

$$T = \frac{t}{N}$$

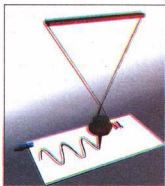


Рис. 26

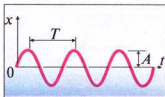


Рис. 27

♦ **Опыт 3.** Возьмём маятник, как в опыте 2, но подвесим грузик на нить большей длины. Потом так же запишем график колебаний нового маятника и сравним его с графиком в опыте 2. Увидим, что чем больше длина маятника, тем больше период его колебаний (рис. 28).

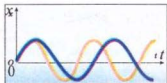


Рис. 28

**Период колебаний маятника зависит от его длины. Чем длиннее маятник, тем больше период его колебаний.**

Если выполнить опыты с пружинным маятником, который состоит из пружины и подвешенного к нему тела, то окажется, что чем больше масса подвешенного к пружине тела, тем больше период колебаний пружинного маятника.

Колебания характеризуются также **частотой колебаний**, которая обозначается греческой буквой  $\nu$  (ню).

**Частота колебаний определяется числом колебаний, выполненных системой за единицу времени.**

Если за время  $t$  произошло  $N$  колебаний, то, чтобы определить частоту  $\nu$ , нужно  $N$  разделить на  $t$ , т. е.:

$$\nu = \frac{N}{t}, \text{ или } \nu = \frac{1}{T}.$$

Частота и период колебаний связаны обратно пропорциональной зависимостью, поэтому:

$$T = \frac{1}{\nu},$$

где  $T$  — период колебаний;  $\nu$  — частота колебаний.

Единицей частоты в СИ является **один герц (1 Гц)**.  $1 \text{ Гц} = 1 \frac{1}{\text{с}}$ . Она названа так в честь известного немецкого физика Генриха Герца. Если частота колебаний  $\nu = 1 \text{ Гц}$ , то это означает, что происходит одно колебание в секунду. Приблизительно с такой частотой бьётся человеческое сердце. Если  $\nu = 50 \text{ Гц}$ , то происходят 50 колебаний в секунду.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

Исследования показали, что сердце мыши совершает 600 ударов в минуту, а кита — 15 ударов в минуту. Тем не менее оба сердца сокращаются за время жизни животного около 750 млн раз.

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ



1. Что такое колебания? Приведите примеры механических колебаний.
2. Что называют периодом колебаний?
3. Как практически определить период колебания?
4. Что показывает частота колебаний?
5. Какая связь существует между периодом и частотой колебаний?

**ЛАБОРАТОРНАЯ  
РАБОТА № 3**
**ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ МАЯТНИКА**

- **Цель работы:** определить исследовательским путем, от каких условий зависит период колебаний маятника.
- **Приборы и материалы:** шарики разной массы, нити, секундомер, штатив.

**Ход работы**

1. Подвесьте шарик на нить длиной 30–40 см. Отклоните его от положения равновесия. Подсчитайте количество колебаний шарика и время, в течение которого эти колебания происходили. Определите период колебаний маятника. Результаты запишите в таблицу.
2. К этой же нити подвесьте шарик другой массы. Повторите предыдущий опыт. Результаты запишите в таблицу. Сделайте вывод.
3. Измените длину нити и выполните предыдущие опыты. Результаты запишите в таблицу. Сделайте выводы.
4. Проверьте, изменится ли период колебаний маятника, если нить с шариком отклонять на разные углы.

Номер опыта	Длина нити, $l$ , см	Масса шарика, $m$ , г	Количество колебаний, $N$	Время колебаний, $t$ , с	Период колебаний, $T$ , с
1	$l_1 =$	$m_1 =$			
2		$m_2 =$			
3	$l_2 =$	$m_1 =$			
4		$m_2 =$			

**ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ**
**➤ Решаем вместе**

Если при вращении шлифовального круга скорость движения точек на его краю равна  $95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , то возникает опасность разрыва круга. Можно ли этот круг радиусом 20 см вращать с частотой  $100 \frac{1}{\text{с}}$ ?

Дано:

$$v_p = 95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$r = 20 \text{ см} = 0,20 \text{ м}$$

Решение

По условию задачи  $v_p$  — значение скорости, при которой возникает опасность разрыва круга;

$$n = 100 \frac{1}{\text{с}}$$

$v = ?$

$v$  — значение скорости, которую будут иметь точки на краю круга, определяем по формуле

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

Для одного оборота путь  $l = 2\pi r$ , где  $\pi = 3,14$ ;

$$t = T, \text{ а } v = \frac{2\pi r}{T}, \quad n = \frac{1}{T}, \quad \text{тогда } v = 2\pi r n.$$

Подставив значения, получим:

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,20 \text{ м} \cdot 100 \frac{1}{\text{с}} = 125,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Ответ: полученное значение скорости больше того, при котором возникает опасность разрыва. Значит, шлифовальный круг нельзя вращать с частотой  $100 \frac{1}{\text{с}}$ .

### Уровень А

31. Период обращения круга равен 14 с. Как вы это понимаете?
32. Частота обращения тела равен  $10 \frac{1}{\text{с}}$ . Что это означает?
33. По какой траектории полетит камень, вращающийся на нити, если нить внезапно оборвётся?
34. Определите период вращения вала токарного станка, если его частота вращения равна  $125 \frac{1}{\text{с}}$ .
35. Определите значение скорости точки земной поверхности вследствие суточного вращения Земли, если радиус Земли равен 6400 км. Точка размещается на экваторе.
36. Период колебаний зубила пневматического молотка равен 0,02 с. Какова частота колебаний зубила?

### Уровень Б

37. Шкив диаметром 16 см совершает 300 оборотов за 3 мин. Определите частоту обращения шкива и скорость равномерного движения точек обода этого шкива.
38. Определите радиус равномерно обращающегося колеса, если скорость точек обода колеса равна  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а частота обращения колеса —  $4 \frac{1}{\text{с}}$ .
39. С какой скоростью относительно Земли движутся нижняя точка велосипедного колеса, центр колеса и верхняя его точка, если велосипед перемещается со скоростью  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?
40. Определите скорость равномерного движения конца секундной стрелки своих часов. Какова частота обращения этой стрелки?
41. Охарактеризуйте физические величины «период обращения», «частота обращения».

## § 10 ЗВУК. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКА

Мы живём в мире звуков: слышим голоса людей, пение птиц, звучание музыкальных инструментов, шум леса, гром во время грозы и т. п.

*Что такое звук? Как он возникает? Чем одни звуки отличаются от других?*

Раздел физики, в котором изучают звуковые явления, называют **акустикой**.

С помощью глаза, воспринимающего свет, мы можем наблюдать волны на поверхности воды как движущиеся последовательные горбы и впадины. Волны, распространяющиеся в газе, внутри жидкости или твёрдого тела, человек при определённых условиях воспринимает с помощью уха. Ухо человека — прекрасный приёмник звуковых колебаний (рис. 29). Оно состоит из трёх частей: внешнего, среднего и внутреннего уха. Элементами внешнего уха являются ушная раковина 1 и внешний слуховой проход 2. Они служат для того, чтобы направить звуковые волны к барабанной перепонке 4. Барабанная перепонка и соединённые с ней три слуховые косточки — это среднее ухо. Они передают звуковые колебания к элементу внутреннего уха являются: через перепонку овального окна — жидкости, заполняющей улитку 3. Здесь звуковые колебания с помощью слуховых рецепторов превращаются в последовательность нервных импульсов, которые передаются в мозг слуховым нервом.

♦ **Опыт 1.** Закрепим длинную стальную линейку в тисках или плотно прижмём её к краю стола. Отклоняя свободный конец линейки от положения равновесия, заставим её колебаться (рис. 30). Если линейка довольно длинная, мы ничего не услышим. Укоротим выступающий конец линейки — она начнет «звучать».

Колеблющаяся стальная линейка сжимает слои прилегающего к ней с одной из сторон воздуха и одновременно создаёт разрежение с другой стороны (рис. 31). Эти сжатия и разрежения чередуются во времени и распространяются в обе стороны в виде звуковой волны подобно расходящимся волнам на водной поверхности озера от места, где упал камень. Звуковая волна достигает нашего уха и вызывает колебания барабанной перепонки 4 в среднем ухе.

Человеческое ухо воспринимает в виде звука колебания, частота которых лежит в пределах от 16–17 до 20 000 Гц. Такие колебания называют звуковыми, или акустическими. В предыдущем опыте мы наблюдали, что чем короче конец линейки, тем выше частота колебаний. Поэтому мы и начинали слышать звук, укоротив конец линейки.

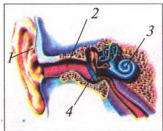


Рис. 29

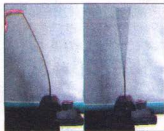


Рис. 30

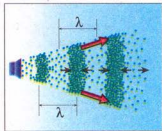


Рис. 31

Любое твёрдое, жидкое или газообразное тело, совершающее колебания со звуковой частотой, создаёт в окружающей среде звуковую волну.



Рис. 32

Звуки, которые мы ежедневно слышим, очень разнообразны. Они делятся на музыкальные звуки и шумы. К первым относятся пение, звучание натянутых струн скрипки, гитары или виолончели (рис. 32), духовых или других музыкальных инструментов, свист и т. п. Шумы возникают во время грозы, создаются работающими двигателями, шелестящей листвой. С помощью органов речи люди могут воссоздавать музыкальные звуки и шумы.

*Но почему с точки зрения физики музыкальные звуки могут быть такими различными и чем они отличаются от шума?*

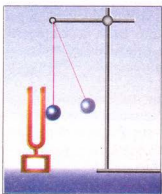


Рис. 33

♦ **Опыт 2.** Возьмём камертон (от немецкого: *камм* — гребень) и ударим шариком по одной из его ножек (рис. 33). Мы услышим музыкальный звук «ля» с частотой 440 Гц. Постепенно вследствие затухания колебаний ножек звук слабеет. Итак, звуковая волна возбуждается ножками камертона, совершающими колебания. Характер этих колебаний можно определить, если прикрепить к ножке камертона грифель карандаша и, возбудив колебания камертона, равномерно провести им по поверхности листа бумаги. На бумаге появится волнистая линия (рис. 34), подобная уже знакомой нам синусоиде. В этом случае говорят, что ножки камертона совершают гармонические колебания.

**Звук, производимый гармонически колеблющимся телом, называют музыкальным тоном, или тоном.**

Музыкальные тоны отличаются на слух громкостью и высотой. Громкость звука зависит от амплитуды колебаний. Чем сильнее удар

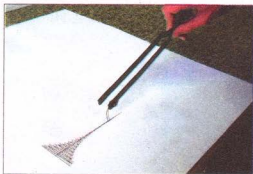


Рис. 34



Рис. 35



молоточка по камертону, тем громче он звучит, поскольку сильный удар вызывает колебания большей амплитуды.

**Громкость звука зависит от амплитуды колебаний в звуковой волне.**

О звуках различной громкости говорят, что один громче другого не во столько-то раз, а на столько-то единиц.

Единицей громкости в СИ является **один децибел (1 дБ)**. Она названа в честь американского учёного Александера Грейама Белла — изобретателя телефона и слуховых аппаратов для глухих.

Громкость звука измеряют специальным прибором — **сонометром** (рис. 35).

Громкость шелеста листвы составляет 10 дБ, шёпота — 20 дБ, уличного шума — 70 дБ и т. п. (рис. 36)

Чувствительность уха зависит от частоты звука. Звуковые колебания одинаковых амплитуд кажутся неодинаково громкими, если их частоты разные. Человеческое ухо наиболее чувствительно к колебаниям с частотой около 3500 Гц.

♦ **Опыт 3.** Возьмём несколько камертонов разных размеров. Поочерёдно заставим их звучать и каждый раз грифелем, прикреплённым к ножке камертона, будем проводить вдоль листа бумаги. Сравнивая полученные результаты, увидим, что чем выше звук камертона, тем меньше период колебаний и, соответственно, тем больше частота колебаний ножек камертона.

**Высота звука зависит от частоты колебаний.**

То же самое можно наблюдать на примере колеблющейся струны. Натягивая сильнее струну гитары или скрипки, мы увеличиваем частоту колебаний, высота звука возрастает.

Звуковые колебания, производимые камертонами (например, у камертона «ля» частота колебаний — 440 Гц) или музыкальными инструментами, можно наблюдать с помощью компьютера или осциллографа (рис. 37 а, б).

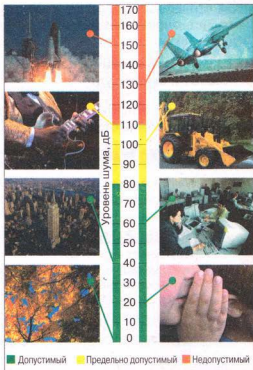


Рис. 36



Рис. 37, а



Рис. 37, б

А что же такое шум? Шум отличается от музыкального тона тем, что у него нет определённой частоты колебаний, а значит — определённой высоты звука.

**Шум — это хаотическая смесь многих звуковых колебаний разных частот и амплитуд.**

Какой вид имеют эти колебания, также можно увидеть, используя микрофон и компьютер или осциллограф.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Наиболее «громким» в мире животных является голубой кит. Он может издавать звуки громкостью 188 дБ, которые слышны на расстоянии до 850 км от кита.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что изучает акустика?
2. Какие колебания называют звуковыми, или акустическими?
3. Какие основные виды звуков вы знаете? Приведите примеры.
4. Что такое тон? Что такое шум?
5. От чего зависят громкость и высота звука?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКА

- **Цель работы:** на опытах ознакомиться с характеристиками звука.
- **Приборы и материалы:** столовая ложка, нитки, стеклянная банка вместимостью 3 л, механические часы, резиновый шнур, штатив, кусок картона (плотная бумага, открытка), стеклянная бутылка, сосуд с водой.

#### Ход работы

1. Возьмите нитку длиной 70–80 см и привяжите к её середине столовую ложку, а концы смотайте в небольшие мотки. Вложите их в ушные раковины и прижмите пальцами. Немного наклонившись, раскачивайте ложку так, чтобы она ударялась об край стола. Сделайте вывод на основе ваших ощущений.
2. Поставьте на стол стеклянную банку вместимостью 3 л, на её дно положите механические часы. Разместите свою голову так, чтобы уши находились ниже краёв банки. Удерживайте лист картона или фанеры над отверстием банки и, изменяя его наклон относительно отверстия и ушей, сделайте вывод на основе ваших ощущений.

3. Резиновый шнур прикрепите вертикально к лапке штатива. Ударяйте по шнуру пальцем, как по струне, изменяя его натяжение. Сделайте выводы на основе ваших ощущений.
4. Подготовьте расчёски с разной густотой зубчиков. Куском плотной бумаги или открытки по очереди проводите по зубчикам вдоль расчёсок. Сделайте выводы на основе ваших ощущений.
5. Осторожно ударяйте ложкой по пустой бутылке. Постепенно заполняйте бутылку водой, постукивая по ней. Сделайте выводы на основе ваших ощущений.

## §11 СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЗВУКА

Звуковые волны подобно всем другим волнам распространяются с определённой скоростью.

• **Наблюдение 1.** Каждый замечал, что на поверхности воды в озере от места падения камня с определённой скоростью расходятся волны в виде колец из горбиков и впадин, а через некоторое время они достигают берега и набегают на него. Что же такое волна?

Удар камня возбуждает колебания частичек воды, они передаются соседним участкам жидкости, которые в свою очередь начинают колебаться и передавать колебания дальше.

Механической волной называют распространение колебаний в упругой среде.

За время, равное периоду колебаний  $T$ , горбик волны, двигаясь со скоростью  $v$ , пройдёт путь, который обозначают греческой буквой  $\lambda$  и называют длиной волны, т. е.

$$\lambda = vT$$

Длина волны – это расстояние, на которое распространяется данное состояние колебания (горбик, впадина) за время, равное периоду колебания.

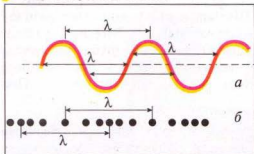


Рис. 38



Рис. 39

На воде длину волны нетрудно измерить: она равна расстоянию между соседними горбиками или соседними впадинами (рис. 38, *а*). Чтобы определить скорость распространения волны  $v$ , надо длину волны  $\lambda$  разделить на период колебаний  $T$  (или умножить на частоту  $\nu$ , поскольку  $\nu = \frac{1}{T}$ ):

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu.$$

• **Наблюдение 2.** Вы, наверное, замечали, что вспышка молнии предшествует удару грома. Если гроза далеко, то запаздывание грома может достигать десятков секунд. Это запаздывание обусловлено тем, что звуковой волне нужно время, чтобы достигнуть уха от места вспышки молнии.

**Звуковая волна** — это распространение слоёв сгущённого и разрежённого воздуха, которые чередуются в пространстве и вызываются колебаниями источника, например ножек камертона. На рис. 38, *б* видно, что длина волны  $\lambda$  в этом случае равна расстоянию между соседними участками сгущений или разрежений воздуха. Так же, как в случае волн на воде, скорость звуковой волны можно определить по формуле:

$$v_{\text{зв}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu,$$

где  $v_{\text{зв}}$  — скорость распространения звуковой волны в среде;  $\lambda$  — длина волны;  $T$  — период колебаний;  $\nu$  — частота колебаний.

Скорость звука зависит от среды, в которой он распространяется. С помощью опытов Д. Ф. Араго, Прони и Ж. Гей-Люссак в 1822 г. установили, что в воздухе при температуре  $10^\circ\text{C}$  скорость распространения звуковых волн равна  $337,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Зная скорость распространения звука, можно по приведённым формулам определить длины волн в воздухе, соответствующие границам слышимости человеческого уха:

для  $\nu_{\text{н}} = 20$  Гц длина волны  $\lambda_{\text{н}} \approx 17$  м;

для  $\nu_{\text{в}} = 20\,000$  Гц длина волны  $\lambda_{\text{в}} \approx 1,7$  см.

В воде скорость распространения звука больше, чем в воздухе. Впервые её измерили в 1827 г. на Женевском озере в Швейцарии. На одной лодке зажигали порох и синхронно ударяли в подводный колокол (рис. 39). Вторая лодка была на расстоянии 14 км от первой. Звук улавливали с помощью опущенного в воду рупора. По интервалу времени между вспышкой света и поступлением звукового сигнала определили скорость распространения звука. При температуре  $8^\circ\text{C}$  скорость распространения звука в воде равна  $1435 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

В твёрдых телах скорость распространения звука еще больше, чем в жидкостях. В таблице 2 приведены значения скорости распространения звуковых волн в разных средах.

Таблица 2

## Скорость распространения звука в разных средах

Твёрдое тело	$v, \frac{м}{с}$	Жидкость (при 20 °С)	$v, \frac{м}{с}$	Газ (при 0 °С)	$v, \frac{м}{с}$
Алюминий	6260	Ацетон	1192	Азот	334
Железо	5850	Бензин	1170	Водород	1284
Лёд	3980	Вода	1460	Воздух	331
Резина	1040	Вода морская	1451	Гелий	965
Стекло	5990	Глицерин	1923	Кислород	316
Фарфор	5340	Ртуть	1451	Метан	429
Эбонит	2405	Спирт	1180	Углекислый газ	259

В таблице 2 указаны значения скорости распространения звука в разных средах при определённой температуре, поскольку скорость распространения звука в среде зависит от её температуры. Например, скорость распространения звука в жидкостях (за исключением воды) с повышением температуры уменьшается, а в газах скорость распространения звука при неизменном давлении с повышением температуры увеличивается.

Современная техника даёт возможность измерить скорость распространения звука с высокой точностью (рис. 40).

**Скорость распространения звука в среде зависит от её температуры.**

♦ **Опыт.** Разместим источник звука под колпаком воздушного насоса (рис. 41), и начнём выкачивать из него воздух. По мере того, как количество воздуха под колпаком уменьшается, звук слабеет, а потом вообще исчезает.

Такой опыт впервые выполнил в 1660 г. Роберт Бойль, показав, что в безвоздушном пространстве, которое называют **вакуумом**, звук совсем не распространяется. Тем самым он доказал необходимость среды для существования звуковых волн. Есть материалы, которые плохо проводят звук, поскольку колебания в них быстро затухают. Например, пористые панели, пенопласт используют для звукоизоляции, т. е. для защиты помещений от проникновения в них посторонних звуков. Если звуковая волна распространяется в некоторой среде (например, воде), то со временем она достигнет её границы, к которой примыкает другая среда (например, воздух). Эта вторая среда состоит из других частиц

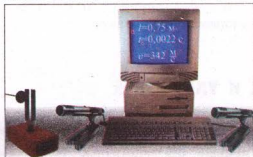


Рис. 40



Рис. 41

и отличается строением, поэтому скорость распространения звука в ней иная. На границе двух различных сред происходит отражение звуковой волны подобно отражению света на границе воздуха и зеркала.

Почему отражается звуковая волна? Происходит это потому, что колебания звуковой волны передаются частицам другой среды. Эти частицы сами становятся источниками новой (вторичной) звуковой волны. Вторичная волна распространяется не только во второй среде, но и в первой, откуда поступила первичная волна. Это и есть отражённая волна.

С отражением звука связано известное всем явление — эхо. Оно заключается в том, что звук от источника доходит до некоторого препятствия (а препятствием и есть вторая, отличная от воздуха среда — стена дома, край леса и т. п.), отражается от его поверхности и возвращается к месту, где возникли звуковые колебания.

Если первичный звук и звук отражённый доходят к слушателю не одновременно, то он слышит звук дважды. Бывают случаи многократных отражений звука, тогда и услышать его можно несколько раз (например, раскаты грома).

Явление отражения звуковых волн от препятствий используют для определения расстояний до разных предметов и их местонахождения. Предположим, что в определённый момент времени источник звука создаёт звуковые колебания. Звук распространяется, и, встретив препятствие, отражается от него. Если возле источника звука разместить ещё и приемник, то через определённый интервал времени он может зафиксировать отражённый звук. Измерив этот интервал времени и зная скорость распространения звука в данной среде, определяют расстояние до препятствия, учитывая, что звук дважды проходит искомое расстояние (до препятствия и обратно) по формуле:

$$l = \frac{v_{\text{зв}} t}{2}$$

где  $l$  — расстояние до препятствия;  $v_{\text{зв}}$  — скорость распространения звука в среде;  $t$  — интервал времени, за которое звук дошел от источника до препятствия и возвратился к приемнику звука.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как можно определить скорость распространения звуковых волн?
2. От чего зависит скорость распространения звуковых волн?
3. Пользуясь таблицей 2, определите, в каком веществе скорость распространения звука наименьшая; наибольшая.
4. Что такое эхо?
5. Как определить расстояние до препятствия с помощью звука?

## § 12

### ИНФРАЗВУК И УЛЬТРАЗВУК

Вы уже знаете, что колебания с частотой от 16 до 20 000 Гц воспринимает человеческое ухо, поэтому их называют звуковыми.

Колебания с частотами, которые меньше чем наименьшая звуковая частота называют **инфразвуком** (от латинского слова *инфра* — ниже, под).



**Инфразвуковые колебания (инфразвук) – это колебания, частота которых меньше 16 Гц – самой низкой частоты звуковых колебаний.**

Человеческое ухо инфразвук не воспринимает. Он возникает во время штормов, гроз, землетрясений. Человеческий организм в целом ощущает на себе вредное действие инфразвука, человек очень страдает от морской и воздушной болезней, возникающих вследствие укачивания в инфразвуковом диапазоне колебаний. Медицинские исследования влияния на человека продолжительного воздействия инфразвука от специальных генераторов свидетельствуют, что оно может привести к непоправимым последствиям.

Инфразвук слабо поглощается средой и может распространяться на большие расстояния. Инфразвук используют в приборах, которые называют **сейсмографами**. Они предназначены для прогнозирования землетрясений, изучения строения Земли, разведки полезных ископаемых (рис. 42).

Колебания с частотами, которые больше, чем наивысшая звуковая частота, называют **ультразвуком** (от латинского слова *ультра* – дальше, больше, над).

**Ультразвуковые колебания (ультразвук) – это колебания, частота которых больше 20 000 Гц – самой высокой частоты звуковых колебаний**

Ультразвуковые колебания применяют для обработки твёрдых и сверхтвёрдых материалов. К обрабатываемым деталям подаётся смесь воды с мелким порошком-абразивом, частички которого под действием ультразвукового излучателя колеблются с большой частотой, бомбардируя обрабатываемую поверхность, благодаря чему в ней можно делать отверстия сложной формы. Так получают изображения на камне, металле, фарфоре и т. п.

Мы уже знаем, что с помощью звукового эха можно определить расстояние до препятствия, на практике также нужно знать, в каком направлении оно расположено. Обычный звук для этого непригоден, поскольку он распространяется по всем направлениям от источника, поэтому и отражённые сигналы поступают с разных сторон.

С целью определения местонахождения объектов методом эха используют не обычный звук, а ультразвук. Он имеет значительно высшую частоту колебаний, чем звук, т. е. очень малую длину волны, что даёт возможность сформировать узкие ультразвуковые пучки, подобные световым, и определить кроме расстояния до объекта ещё и направление на него.

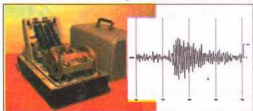


Рис. 42

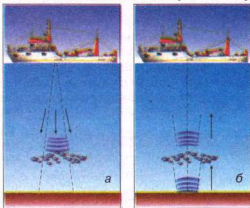


Рис. 43



Рис. 44

Этот принцип положен в основу действия эхолота и эхолокатора — приборов для измерения глубины морей, океанов или поиска различных предметов под водой. На днищах судов устанавливают ультразвуковые излучатели, которые периодически посылают импульсы в направлении дна (рис. 43, а). Отражённые колебания принимаются (рис. 43, б), и на экране компьютера появляется рельеф дна. Когда на пути ультразвука возникает, например, косяк рыбы, он также отображается на экране. Для многих технических целей нужны смеси жидкостей, которые не смешиваются в обычных условиях (например, ртуть и вода). Но если колбу с водой и ртутью облучать на протяжении определённого времени ультразвуком, то образуется устойчивая смесь, которая может сохраняться в течение продолжительного времени. На промышленных предприятиях с помощью ультразвуковых колебаний смешивают воду и масло.

Учёные установили, что простейшие живые существа быстро гибнут под действием ультразвука. Это свойство используют для стерилизации воды, молока и других пищевых продуктов. Ультразвук является причиной паралича и гибели холоднокровных животных — рыб, жаб, головастиков.

В медицине ультразвук используют с лечебной (рис. 44, а) и диагностической целями (рис. 44, б).

### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Свыше 80 лет тому назад французский учёный Поль Ланжевен получил патент на первый в мире ультразвуковой локатор. Но природа опередила его. Летучие мыши и китообразные, ориентируясь в пространстве, действуют как живые эхолоты, так как способны излучать и воспринимать ультразвук в широком диапазоне. Дельфин чётко отличает скалу от косяка рыб. Собаки слышат ультразвук, поэтому им можно подавать неслышимые для людей команды с помощью специальных свистков.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое инфразвук? Как он влияет на человеческий организм?
2. Где используют инфразвук?
3. Что такое ультразвук? Приведите примеры применения ультразвука.

## **§ 13 ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ**

Среди физических факторов, отрицательно влияющих на здоровье человека, одним из наиболее вредных является звуковой шум. Он воспринимается как неприятные, нежелательные звуки, мешающие нормально работать, получать нужную информацию, отдыхать. Учёные установили, что шум даже малой интенсивности приводит к снижению трудоспособности, остроты слуха, изменению функциональных возможностей коры головного мозга, сердечно-сосудистой и центральной нервной систем. Шум действует на человека возбуждающе, вызывает выделение в кровь большого количества гормонов, вызывающих чувство страха, опасности, агрессии и т. п.

Шум — сложное физическое явление: он образуется вследствие наложения колебаний различных частот, то есть состоит из звуков разной высоты. Он является одной из форм физического (волнового) загрязнения окружающей среды, адаптация организмов к которому практически невозможна. Поэтому шум относится к серьёзным загрязнителям, которые должны быть под контролем государства на основе специальных законов.

Правовую основу защиты населения от шума представляют Законы Украины «Об обеспечении санитарного и эпидемического благополучия населения», «Об охране естественной окружающей среды», «Об охране атмосферного воздуха», «Об экологической экспертизе» и др.

Борьба с шумом состоит в создании шумоулавливающих экранов, поглощающих фильтров, бесшумных механизмов, в изменении технологии производства и динамики транспортных потоков. Даже озеленение территории снижает уличный шум на 25 % и более.

Уровень шума, его сила (интенсивность) измеряется в децибелах (дБ). Интенсивность всех звуков диапазона слухового восприятия выражают в относительных единицах от 0 до 130 дБ (болевого порога). Измеряют шум специальной аппаратурой — шумомерами.

Допустимые границы силы звука в разных условиях составляют 45–85 дБ. В случае постоянного шума до 70 дБ возникают нарушения эндокринной и нервной систем, при 90 дБ нарушается слух, при 120 дБ возникает физическая боль, становящаяся невыносимой.

Рекомендованные диапазоны шумов внутри помещений разного назначения такие:

- для сна, отдыха — 30–40 дБ;
- для умственного труда — 40–50 дБ;
- для лабораторных исследований, работы с ЭВМ и т. п. — 50–60 дБ;
- для производственных цехов, гаражей, магазинов и т. п. — 50–70 дБ.

Источниками шумов являются все виды транспорта, промышленные объекты, громкоговорящие устройства, лифты, телевизоры, радиоприёмники, музыкальные инструменты, собрания людей и отдельные лица (табл. 3). Чрезмерный шум влияет на организм человека подобно яду, который в организме медленно накапливается. Он сокращает продолжительность жизни на 8–12 лет.

Медицинские исследования свидетельствуют, что у лиц, имеющих «шумные» профессии, желудочные заболевания (гастриты, язвы и т. п.) возникают в четыре раза чаще, чем у других. Среди них также намного больше глухих. От продолжительного сильного шума производительность у людей умственного труда снижается на 60 %, физического — на 30 %.

Оказалось, что молодежь до 27 лет выдерживает намного более интенсивный шум, чем люди возрастом более 40–50 лет. Однако со временем, как свидетельствует статистика, у молодых людей, увлекающихся громкой музыкой (на концертах и дома), после 30 лет возникают расстройства слуха, нервной системы и другие болезни.

Таблица 3

### Влияние на здоровье человека шума разной интенсивности

Источник шума	Интенсивность звука, дБ	Влияние на организм
Порог слышимости	0	
Шелест листвы	10	
Тихий шёпот на расстоянии 1 м	15	
Тиканье часов	30	Не мешает сну
Город ночью, городская квартира	35	Допустимая санитарная норма
Замедленный разговор	40	
Шум воды из-под крана	45	Эффективный умственный труд
Шум печатной машинки	50	
Звук громкоговорителя	55	
Шум легкового автомобиля на расстоянии 1 м	60	Снижение трудоспособности
Громкий разговор	65	
Шум трамвая, уличное движение	70	Вредно для психики, вегетативной нервной системы; аритмия
Крик на расстоянии 1 м; мопед	80	
Стиральная машина, мотоцикл с глушителем	85	Повреждение слуха, расстройства эндокринной и нервной систем
Фортиссимо оркестра	100	Агрессия, язвенная болезнь, гипертония
Автомобильная сирена, шум вертолётa	110	
Рок-концерт	115	
Отбойный молоток (на расстоянии 1 м)	120	Прямое повреждение клеток мозга
Пушечный выстрел	125	
Самолёт на старте	130	Болевой порог
Старт ракеты	150	

Наблюдение специалистов свидетельствуют, что в концертных залах, где выступают современные рок-ансамбли, в первых рядах интенсивность звука достигает 118–120 дБ, в последних – 100–110 дБ. Врачи считают, что после каждого такого концерта почти у 10 % слушателей возникают необратимые повреждения внутреннего уха (нервных окончаний), которые не восстанавливаются. Установлено, что очень громкая музыка негативно влияет на вегетативную нервную систему человека, сердце, кровообращение, органы дыхания.

Положительное влияние гармонической, спокойной, мягкой музыки было известно с давних времён. Существует так называемая музыкальная терапия, когда различные оздоровительные процедуры сопровождаются нежными монотонными напевами, спокойным журчанием воды, мягким шумом морских волн, птичьим пением, спокойной симфонической музыкой.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое шум? Приведите примеры шумов.
2. Объясните, как влияет шум на здоровье человека?
3. Какие звуки положительно влияют на нервную систему человека?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Услышим ли взрыв, который произошёл на Луне?

Ответ: нет, так как на Луне отсутствует атмосфера. Звук в безвоздушном пространстве не распространяется.

2. Выпишите названия музыкальных инструментов в порядке возрастания высоты тона (в скобках указана частота звуковых колебаний): скрипка (640 Гц), виолончель (216 Гц), контрабас (196 Гц), альт (415 Гц).

Ответ: контрабас (196 Гц), виолончель (216 Гц), альт (415 Гц), скрипка (640 Гц).

3. Эхо услышали через 2 с после вскрика мальчика перед лесом. На каком расстоянии от леса был мальчик?

Дано:

$$t = 2 \text{ с}$$

$$v_{\text{зв}} = 331 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l = ?$$

Решение

Используем формулу:  $l = \frac{v_{\text{зв}} t}{2}$ .

$$\text{Подставим значения: } l = \frac{331 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ с}}{2} = 331 \text{ м.}$$

Ответ:  $l = 331 \text{ м.}$

### Уровень А

42. Объясните, как образуются звуки в скрипке, рояле, трубе, барабане. Как музыкант может изменить характер этих звуков?
43. Любое ли тело может быть источником звука?
44. Почему журчат ручьи?
45. Как проверяют наличие трещин в колёсах вагонов, стеклянной или фарфоровой посуде?

46. Осмотрщики вагонов на железнодорожных станциях, проверяя состояние колёс вагонов, ударяют по ободу колеса молоточком. Для чего они это делают? На что обращает внимание осмотрщик в момент удара молоточком по ободу колеса?
47. Человек может слышать звуки, которые распространяются от источников, производящих не менее 16 и не более 20 000 колебаний в 1 с. Определите периоды колебаний, соответствующие этим частотам.
48. Кто чаще машет крылышками — шмель или комар?
49. Почему гром всегда слышим после того, как увидим молнию? На каком расстоянии от наблюдателя возникла молния, если гром от неё он услышал через 10 с?
50. Почему, приложив ухо к железнодорожному рельсу, можно услышать стук колёс поезда, находящегося на большом расстоянии?
51. Объясните, почему плохо слышно, когда уши закрыты ватой.
52. Почему в читальных залах пол всегда застилают мягкими дорожками?
53. Почему шум от поезда становится оглушительным при входе в туннель?
54. Где легче определить местоположение источника звука: на ровной местности или в горах, в поле или в селе?
55. Может ли человек слышать инфразвуки? Почему?
56. К каким звукам относятся колебания с частотой 9 Гц? Каков период этих колебаний?
57. Почему летучие мыши (рис. 45) даже в полной темноте не налетают на препятствия?
58. Глубина проникновения ультразвука с частотой 1 МГц в стальном слитке составляет 6 м. Какое время необходимо для этого?



Рис. 45

### Уровень Б

59. Для выявления в автомобильном двигателе неисправности автомеханик прикладывает ухо к концу какого-либо металлического стержня, касаясь другим его концом тех или иных частей работающего двигателя. Для чего он это делает?
60. Объясните, почему люди, поднявшись высоко в горы, должны громче говорить, чтобы слышать друг друга.
61. Для чего слабослышащие люди прикладывают к уху рупор? О дефектах какого органа чувств человека говорится в задаче? Припомните его строение.
62. За 1 с муха совершает 330 взмахов крыльями, а мотылек — 2. Кто из них вследствие этого является источником звука? Каков период колебаний крыльев мухи и мотылька?
63. Сколько времени распространяется звук от стола учителя до последней парты?



64. Расстояние между двумя железнодорожными станциями равно 16,6 км. За какое время распространяется звук от одной станции до другой по воздуху; по рельсам? Температура воздуха  $0^{\circ}\text{C}$ . Скорость распространения звука в стали равна  $5500 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
65. Для чего стены и потолок помещений радио- и телестудий покрывают материалами, которые хорошо поглощают звук?
66. Гром — это звук, возникающий во время молнии. Почему мы долго слышим гром, хотя разряд молнии длится очень короткое время?
67. Струйка воды во время наполнения бутылки (рис. 46) вызывает шум, в котором можно уловить некоторый тон. По мере заполнения бутылки высота тона изменяется. Повышается он или понижается? Почему это происходит?
68. Послушайте, как звонит будильник в комнате и на улице. Объясните различие.
69. Рыболовецкое морское судно, которое плывёт ночью или в тумане близ берегов с высокими скалами, время от времени даёт короткие гудки. Для чего это делается?
70. Почему в небольшой комнате не слышно эха? Почему в лесу тяжело ориентироваться по голосу?
71. Специалисты-пчеловоды по звуку определяют, летят пчёлы на взятку или возвращаются с мёдом. Как они об этом узнают?
72. Часто уровень заполнения закрытых цистерн, баков и бочек определяют по звуку. Почему слышатся разные звуки от ударов в местах, заполненных и незаполненных жидкостью?
73. Приятная мелодия благотворно действует на организм человека, он освобождается от усталости, отдыхает. Звуки, возникающие от работы двигателей, вредны, и с ними ведут борьбу, устанавливая глушители. Зачем?
74. Чем объяснить, что кошки и другие животные перед землетрясением покидают здания, а киты и дельфины заплывают далеко в море?
75. Пользуясь эхолотом — прибором для измерения глубины моря с помощью отражения звука, определили, что с момента подачи звукового сигнала до приёма отражённого прошло 3 с. Какова глубина моря, если скорость распространения звука в воде равна  $1450 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?
76. Почему на кораблях устанавливают не звуковые, а ультразвуковые гидролокаторы (см. рис. 43)?
77. С помощью ультразвука проводится дезинсекция зерна. Чем объяснить действие ультразвука на насекомых? Почему многие насекомые гибнут при облучении их ультразвуком?



Рис. 46

## ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Свыше двух тысяч лет тому назад Аристотель писал: «Поскольку природа является началом движения и изменения, а предметом нашего исследования является природа, то нельзя оставить невыясненным, что такое движение, так как незнание движения приведёт к незнанию природы». Под движением Аристотель понимал изменения, которые происходят с телом, т. е. изменения места или положения тела относительно других тел. Более сложное движение, по словам философа, включает в себя предыдущее, менее сложное. Приведём примеры к этим высказываниям Аристотеля. Простейшее — это механическое движение, т. е. изменение со временем положения тела относительно других тел. Кроме механического движения существуют более сложные движения: тепловое, электрическое, атомное. И эти движения уже включают в себя простейшие движения (частицы при тепловом движении двигаются по законам механики).

Итальянский физик и астроном Галилео Галилей (1564–1642) основательно исследовал механическое движение. Галилей сформулировал принцип относительности для равномерного прямолинейного движения. Изучая свободное падение тел, он пришёл к выводу, что тело падает на Землю с постоянно возрастающей скоростью. Но для подтверждения этих теоретических гипотез нужны были эксперименты.

Изучая свободное падение тел, Галилей столкнулся со сложной задачей измерения времени. Галилей придумал способ замедления процесса падения, заставляя тело двигаться по наклонной плоскости с небольшим уклоном. Галилей знал теоретически, что при этом должны изменяться лишь масштаб движения, и провёл такой эксперимент. В бруске из твёрдого дерева он прорезал строго прямолинейный жёлоб с хорошо отполированными стенками. Установив жёлоб под углом к горизонту, Галилей скатывал по нему бронзовый шар, измеряя время, за которое тот проходил отрезки пути разной длины. Поскольку точных часов в те времена ещё не было, то Галилей взвешивал воду, вытекавшую из большого резервуара через тонкую трубку за время перемещения шара от одной точки жёлоба к другой. Он установил, что время движения точно равно корню квадратному из пройденного расстояния согласно гипотезе о падении тел с возрастающей скоростью.

## ПРОВЕРЬТЕ СВОИ ЗНАНИЯ

### Контрольные вопросы

1. Какие виды механического движения вы знаете? В чём состоит их отличие?
2. Известно, что в густом тумане легко заблудиться, так как не видно предметов, относительно которых мы движемся. Почему же тогда в лесу, где много деревьев, тоже легко заблудиться?
3. Чем могут отличаться равномерные прямолинейные движения двух тел, если тела прошли одинаковые расстояния?
4. Как определить среднюю скорость движения тела, скатывающегося по наклонной плоскости? Какие величины вы при этом должны определить практически и какими приборами?
5. Приведите примеры криволинейных движений, в частности движений тел по окружности.

6. Все ли тела могут колебаться?
7. Назовите величины, которые характеризуют колебательные процессы.
8. Как связаны между собой скорость распространения звука, длина и частота звуковой волны?
9. В каких средах скорость распространения звука больше, чем в других?
10. В каких средах возникают инфразвуковые колебания?
11. В каких средах не распространяется ультразвук?
12. Какие вы знаете способы защиты помещений от шумов?

### Что я знаю и умею делать

**Я знаю, каковы единицы пути, времени, скорости движения тела.**

1. Вместо точек вставьте пропущенные числа:

1 км = ... м; 1 см = ... м; 1 м = ... мм; 100 м = ... см = ... мм;

1 ч = ... с; 30 с = ... ч; 15 мин = ... с; 3 ч = ... мин = ... с;

$18 \frac{\text{км}}{\text{ч}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \dots \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ;  $20 \frac{\text{см}}{\text{с}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $9 \frac{\text{км}}{\text{с}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Я умею описывать и строить графики равномерного движения тела.**

2. Два мотоциклиста из одного пункта одновременно начали двигаться в одинаковом направлении по прямой траектории. Их графики скоростей представлены на рисунке 47.

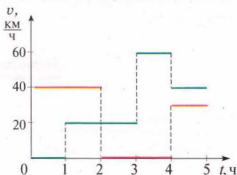


Рис. 47

1. Каковы скорости движения каждого мотоциклиста через 1 ч? 2 ч? 3 ч? 4 ч? 5 ч?
2. У кого из мотоциклистов скорость была наибольшей? Наименьшей? В какой момент?
3. Какой из мотоциклистов останавливался в пути? Когда это было?
4. Какой путь пройдет каждый мотоциклист за 1, 2, 3, 4 и 5 ч?
5. Постройте графики зависимости пройденного мотоциклистами пути от времени движения.
6. Какова средняя скорость движения каждого мотоциклиста за всё время движения?

**Я знаю, как определить физические величины.**

3. Определите глубину шахты, в которую бросили шарик, если звук от момента удара шарика об дно шахты достигнул её края через 6 с. Скорость распространения звука считать равной  $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
4. Период колебаний зубила пневматического молотка равен 0,02 с. Какова частота колебаний зубила?
5. На каком расстоянии находится препятствие, если отражённый от него звук вернулся к источнику через 5 с?
6. Человеческое ухо наиболее чувствительно к колебаниям с частотой около 3500 Гц. Какова длина волны в воздухе для этих колебаний?

**Я знаю, где на практике применяются физические явления.**

7. Как работает сейсмограф?
8. Где применяются ультразвуковые колебания?
9. Почему при проверке колёс вагонов на стоянке поезда по ним постукивают молотком?

**Я умею выполнять опыты.**

10. Выполните такой опыт: положите металлическую линейку длиной 40–50 см одним концом на край стола и прижмите её сверху деревянным бруском или книгой. Свободный конец линейки оттяните вниз или вверх и отпустите. Повторяйте опыт, уменьшая длину свободной части линейки до тех пор, пока услышите её гудение. Когда быстрее колебалась линейка – когда она была длиннее или короче? Когда было слышно звук – при редких или частых колебаниях? Как называют наибольшее расстояние, на которое смещается конец линейки во время колебаний?

**Я умею конструировать.**

11. Придумайте прибор для измерения пути во время криволинейного движения тела.

**Я умею выполнять лабораторные работы.**

12. Выполняя лабораторную работу, ученик определил, что маятник совершил 50 колебаний за 45 с. Каков период колебаний маятника?

**Тестовые задания****Вариант I**

1. Какие из перечисленных частей велосипеда, спускающегося с горки, находятся в движении относительно его рамы?  
А. Педали во время их вращения.  
Б. Педали во время «свободного хода» велосипеда.  
В. Оси колёс.  
Г. Цепь во время вращения педалей.
2. Относительно каких тел пассажир, сидящий в движущемся вагоне, находится в покое?  
А. Вагона.  
Б. Земли.  
В. Других пассажиров, сидящих в вагоне.  
Г. Колёс вагона.
3. Пассажирский поезд за каждые полчаса проходил расстояние 60 км, за 15 мин – 30 км, за 1 мин – 2 км. Какое это движение?  
А. Равномерное.  
Б. Неравномерное.  
В. Криволинейное.  
Г. Движение по окружности.
4. Один самолёт летит со скоростью  $540 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а второй —  $130 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . У какого самолёта скорость движения больше?  
А. У первого.  
Б. У второго.  
В. Одинаковые.

5. Автомобиль проехал расстояние 2 км со скоростью  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а потом 4,5 км — со скоростью  $15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Какова средняя скорость движения автомобиля на всём пути?  
А.  $17 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Б.  $16,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . В.  $16,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Г.  $16,00 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
6. Тело совершает за 5 с 20 оборотов. Каков период обращения тела?  
А. 0,20 с. Б. 4 с. В. 0,25 с. Г. 100 с.
7. Зависит ли период колебаний маятника от длины нити?  
А. Зависит.  
Б. Не зависит.  
В. Зависит только в определенных случаях.
8. Длина одного маятника 2 м, а второго — 4 м. У какого маятника период колебаний больше?  
А. У первого. Б. У второго. В. Одинаковые.
9. Кто чаще машет крылышками во время полёта: комар или муха?  
А. Муха. Б. Комар. В. Одинаково.
10. На камертоне есть надпись «440». Каков период колебаний ножек камертона?  
А. 0,0030 с. Б. 400 с. В. 0,00227 с.  
Г. Правильного ответа здесь нет.
11. Во время грозы человек услышал гром через 15 с после вспышки молнии. На каком расстоянии от человека произошёл разряд?  
А. 5000 м. Б. 4965 м. В. 15 000 м. Г. Правильного ответа здесь нет.
12. Самолет на старте создает шум 130 дБ. Как человек это воспринимает?  
А. Возникают приятные ощущения.  
Б. Возникают болевые ощущения.  
В. Никак.

**Вариант II**

1. Яблоко, лежащее на столе вагона движущегося поезда, движется относительно...  
А. Пассажира, который идет по вагону.  
Б. Тепловоза.  
В. Земли.  
Г. Пассажира, который сидит в вагоне.
2. Какое из перечисленных тел находится в покое относительно Земли в данный момент времени?  
А. Гусеницы трактора, касающиеся Земли во время его движения.  
Б. Верхние части гусениц подвижного трактора.  
В. Солнце.  
Г. Оси велосипедных колёс во время движения.
3. Автомобиль за полчаса прошёл 30 км, причём за первые 15 мин — 20 км, а за следующие — 10 км. Какое это движение?  
А. Равномерное. Б. Неравномерное. В. Криволинейное. Г. Движение по окружности.
4. Один автомобиль движется со скоростью  $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , а второй —  $25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .  
У какого из автомобилей скорость движения больше?  
А. У первого. Б. У второго. В. Одинаковая.

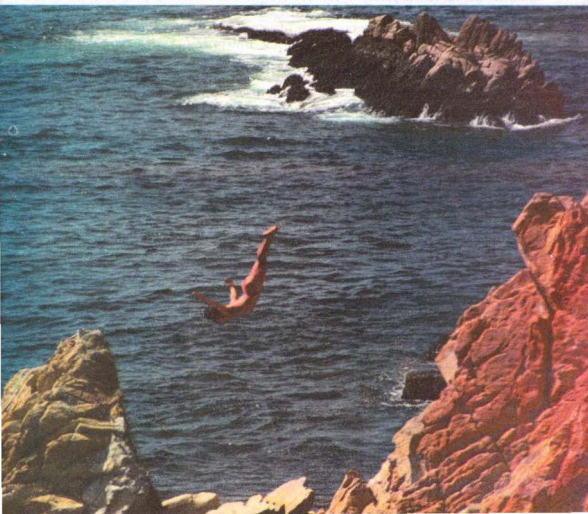
5. Спидометр автомобиля в течение 0,2 ч показывал скорость  $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , потом в течение 0,1 ч —  $80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  и снова в течение 0,2 ч —  $40 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Определите среднюю скорость движения автомобиля на всём пути.  
А.  $60 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Б.  $62 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . В.  $59,5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Г. Правильного ответа здесь нет.
6. Какова частота обращения тела, если оно за 10 с делает 100 оборотов?  
А. 100 Гц. Б. 10 Гц. В. 1 Гц.  
Г. Правильного ответа здесь нет.
7. Зависит ли период колебаний маятника от частоты колебаний?  
А. Зависит.  
Б. Не зависит.  
В. Зависит только в определённых случаях.
8. Один маятник колеблется с частотой 5 Гц, а второй - 2 Гц. Какой из маятников длиннее?  
А. Первый. Б. Одинаковые. В. Второй.
9. Пчела вылетела на сбор пыльцы. Будет ли изменяться частота колебаний её крылышек во время этой работы?  
А. Не будет изменяться. Б. Уменьшится. В. Увеличится.
10. Период колебаний ножек камертона равен 0,002 с. Какова его частота?  
А. 500 Гц. Б. 440 Гц. В. 450 Гц. Г. Правильного ответа здесь нет.
11. Измеряя глубину моря под кораблем с помощью эхолота, определили, что время между моментом отправки и приёмом сигнала равно 0,6 с. Какова глубина моря под кораблем?  
А. 435,3 м. Б. 870,6 м. В. 600 м. Г. Правильного ответа здесь нет.
12. Легковой автомобиль на расстоянии 1 м создаёт шум 60 дБ. К чему это приводит?  
А. К доброму расположению духа. Б. К снижению работоспособности. В. Ни к чему.





# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

- Взаимодействие тел. Инерция
- Масса тела
- Сила и единицы силы
- Сила упругости
- Закон Гука
- Динамометры
- Сила тяжести
- Вес тела. Невесомость
- Измерение сил
- Сила трения
- Коэффициент трения скольжения
- Давление и сила давления
- Давление жидкостей и газов
- Закон Паскаля
- Гидравлические машины
- Сообщающиеся сосуды
- Атмосферное давление
- Манометры
- Жидкостные насосы
- Выталкивающая сила
- Условия плавания тел
- Гидростатическое взвешивание



## §14 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТЕЛ

В предыдущей главе мы рассмотрели равномерное и неравномерное движения, каждое из которых по траектории может быть прямолинейным и криволинейным. Во время равномерного прямолинейного движения тело движется с постоянной по значению и направлению скоростью. Скорость неравномерного движения изменяется со временем. Рассмотрим теперь явления, вследствие которых тело изменяет собственную скорость движения или её направление.

♦ **Наблюдение.** Из повседневного опыта следует: чтобы тело пришло в движение (т. е. набрало скорость), на него должно подействовать другое тело. Например, лежащий на футбольном поле мяч, придёт в движение только тогда, когда на него налетит другой мяч или по нему ударят ногой (рис. 48). Но если на мяч не действуют другие тела, то он сам по себе не изменит собственную скорость, не придёт в движение относительно Земли.

♦ **Опыт 1.** На одну из двух тележек, стоящих на рельсах, положили магнит, а на другую — стальной брусок (рис. 49). Под рельсами перекинута нить, которая своими концами закреплена позади каждой из тележек и не позволяет им сближаться. Если нить пережечь, то тележки начинают двигаться навстречу друг другу, изменяя свою скорость от нуля до некоторого значения. Причиной изменения скорости тележек является притяжение между магнитом и железным бруском, т. е. взаимодействие между ними.

♦ **Опыт 2.** Толкнём шарик, лежащий на горизонтальном столе, — он начнет равномерно двигаться по прямолинейной траектории. Положим на стол магнит перед шариком на расстоянии от линии его движения. Шарик вследствие взаимодействия с магнитом начнет увеличивать свою скорость и отклоняться в сторону магнита, т. е. он изменит направление движения (рис. 50).

♦ **Опыт 3.** Один конец пружины прикрепим к игрушечному автомобилю (рис. 51), другой — к стойке на краю стола. Потянем за автомобиль в сторону от стойки — начнётся взаимодействие руки с автомобилем и пружиной, в результате чего их скорости изменяются, а пружина растягивается. Отпустим машинку — теперь взаимодействуют пружина и автомобиль — пружина начинает сжиматься и двигаться с ним в обратном направлении. Во всех этих опытах взаимодействие тел приводит к изменению их скоростей.



Рис. 48

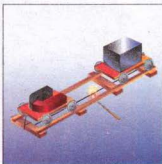


Рис. 49

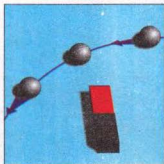


Рис. 50

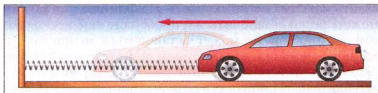


Рис. 51

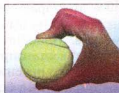


Рис. 52

При взаимодействии тел может изменяться скорость движения не только тел в целом, но и отдельных их частей. Это происходит, например, если мы сжимаем в руке теннисный мяч (рис. 52). Вследствие неодинакового перемещения отдельных частей мяч сжимается и деформируется (изменяет свою форму).

Также изменяют свою форму и пальцы руки. На фотографии (рис. 53)



Рис. 53

показано, как пуля пробивает стальной лист. В этом случае произошло взаимодействие пули с листом, в результате чего они деформировались, а пуля ещё и изменила свою скорость движения.

**Вследствие взаимодействия тел они изменяют скорость и направление своего движения, а также деформируются.**



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Приведите примеры, показывающие, что вследствие взаимодействия тел изменяется их скорость движения.
2. Опишите опыты, из которых видно, что тела при взаимодействии деформируются.
3. Пуля пробила доску. Подействовала ли доска на пулю? Почему?
4. Стоя на ледяной дорожке, конькобежец бросает вперёд крупный кусок льда. Что при этом произойдёт с конькобежцем? Почему?

## § 15

### ИНЕРЦИЯ

Повседневный опыт подтверждает вывод, сделанный нами из предыдущих опытов: скорость и направление движения тела могут изменяться лишь при взаимодействии его с другим телом.

Рассмотрим случаи, когда тело в начале наблюдения уже находится в движении. Увидим, что уменьшение скорости движения и остановка тела не могут происходить сами по себе, а обусловлены действием на него другого тела.

• **Наблюдение 1.** Вы, наверное, неоднократно наблюдали, как пассажиры, едущие в транспорте, вдруг наклоняются вперёд во время торможения или прижимаются к стенке на крутом повороте.

• **Наблюдение 2.** Когда на уроке физкультуры вы пробегаете дистанцию

60 м, то стараетесь развить максимальную скорость. На финише уже можно не бежать, но вы не можете резко остановиться и пробегаете ещё несколько метров. Подобно этому автомобиль не может остановиться мгновенно, а движется ещё определённое время при отключённом двигателе или даже во время торможения. Поэтому нельзя перебежать улицу перед приближающимся автомобилем: водитель не сможет его резко остановить.

♦ **Опыт.** Тележку с бруском на нём поставим на наклонную плоскость и отпустим (рис. 54, а). Она будет двигаться вниз, набирая скорость, но достигши преграды, резко остановится. Видим, что брусок, не связанный жёстко с тележкой, будет продолжать свое движение дальше (рис. 54, б). Из приведённых примеров видим, что все тела имеют свойство сохранять скорость и направление движения и не могут мгновенно их изменить в результате действия на них другого тела. Можно предположить, что при отсутствии внешнего воздействия тело будет сохранять скорость и направление движения как угодно долго.

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

Явление инерции открыл итальянский учёный Галилео Галилей. На основе своих опытов и размышлений он утверждал: **если на тело не действуют другие тела, то оно или находится в покое, или движется прямолинейно и равномерно.** В этом случае говорят, что тело движется по инерции.

**Инерция** — это латинское слово, которое означает «недвижимость», «бездеятельность».

Явление инерции широко используют в технике и быту. Например, чтобы насадить молоток на ручку (рис. 55), нужно другим молотком ударить по торцу ручки или торцом ручки — по массивному неподвижному предмету.

Примером движения по инерции является также движение молекул газа — каждая молекула в интервале времени между двумя последовательными столкновениями с другими молекулами движется по инерции.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое инерция? Кто открыл это явление?
2. Как двигалось бы тело, если бы отсутствовало сопротивление движению?
3. Почему нельзя мгновенно остановить движущийся поезд, автомобиль, мотоцикл?

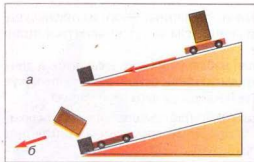


Рис. 54

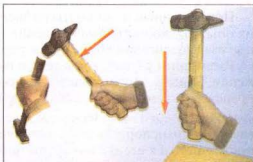


Рис. 55

## § 16 МАССА ТЕЛА

• **Наблюдение 1.** Мяч падает на поверхность Земли, а потом отскакивает от неё — это пример взаимодействия двух тел. Мы уже знаем, что результатом взаимодействия тел является изменение их скорости и направления движения. Мяч после столкновения отскакивает почти с той же скоростью, что и падал, но в обратном направлении. В состоянии Земли практически не заметно никаких изменений, хотя на самом деле они есть, но бесконечно малые. В приведённом примере наглядно видно, что результаты взаимодействия тел для каждого из них будут разными и зависят от свойств этих тел. Ежедневный опыт и специальные исследования свидетельствуют, что в результате взаимодействия разные тела получают определённое изменение скорости за неодинаковые интервалы времени: одни за большие, другие — за меньшие. Движение того тела, которое в результате взаимодействия медленнее изменяет собственную скорость, более напоминает движение по инерции, поэтому говорят, что оно более инертно.

**Инертность** — это свойство тела, заключающееся в том, что для изменения его скорости при взаимодействии с любыми другими телами нужно определённое время.

Свойством инертности обладают все тела. Количественной мерой инертности тела является масса тела.

**Масса тела** — это физическая величина, характеризующая инертность тела. Чем больше масса тела, тем более оно инертно.

Существуют разные методы определения массы тела. Все они базируются на использовании свойств, присущих всем без исключения телам, например на свойстве инертности тел. На практике наиболее удобным оказался метод измерения массы, связанный с хорошо известным явлением взаимодействия всех тел с Землей.

• **Наблюдение 2.** Вы, наверное, неоднократно наблюдали, как падают капли дождя, снежинки, как оседают мелкие пылинки, как любое тело, поднятое над Землей и отпущенное, стремительно летит к Земле. Эти явления объясняются тем, что все физические тела притягиваются Землей, т. е. взаимодействуют с ней. Опыты показывают, что значение этого взаимодействия тем больше, чем больше масса тела.

♦ **Опыт.** Возьмём в одну руку спичечный коробок, а в другую — кусок дерева (рис. 56). Оба тела вследствие притяжения их Землёй давят на удерживающие их руки. Большую нагрузку ощущаем в руке, держащей кусок дерева, т. е. он тяжелее спичечного короба и соответственно его масса больше, чем у короба.



Рис. 56



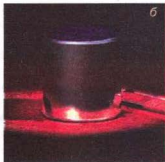
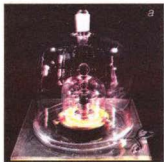


Рис. 57



Рис. 58

Если массы тел близки по значению, если тела очень малы или слишком велики, то сравнить их массу на руках уже невозможно. Как можно измерить массу тела с достаточной точностью?

Для определения массы тела используют специальные приборы — весы. В магазинах, аптеках, на почте с помощью весов разных конструкций взвешивают продукты, лекарства, посылки и пр. Определение массы тела с помощью весов называют взвешиванием.

Массу тела обозначают малой латинской буквой  $m$ . За единицу массы в СИ принят **один килограмм (1 кг)**. Международный образец (эталон) (рис. 57, а) килограмма сохраняется во Франции (г. Севр близ Парижа). Он изготовлен из платиноиридиевого сплава и имеет форму цилиндра диаметром и высотой 39 мм (рис. 57, б). По этому образцу с большой точностью изготовлены копии для всех стран мира.

На практике применяют также кратные и дольные единицы массы: тонну (т), грамм (г), миллиграмм (мг):

$$\begin{aligned} 1 \text{ т} &= 1000 \text{ кг}; 1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}; 1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг}; \\ 1 \text{ кг} &= 0,001 \text{ т}; 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}; 1 \text{ кг} = 1\,000\,000 \text{ мг}. \end{aligned}$$

Основной частью учебных весов (рис. 58) является стержень (коромысло весов), который может свободно поворачиваться вокруг оси, размещённой посреди стержня (в следующей главе вы узнаете, что такой механизм называют рычагом). К его концам подвешены чашки весов. Определение массы тела с помощью весов основано на том, что коромысло находится в равновесии при условии, что массы тел, лежащих на разных чашках, одинаковы. При этом коромысло весов располагается горизонтально, а стрелка прибора указывает на нулевую отметку. Таким образом, взвешивая тело на весах, сравнивают его массу с массой эталона.

**Пример.** На одну чашку весов положим тело, массу которого нужно измерить, а на другую — гири с известными массами (рис. 59). Гири подбираем такие, чтобы установилось равновесие. Определяем общую массу гирь, уравновесивших тело. Масса тела равна сумме масс гирь, т. е. 370 г. Результат записывают так:

$$m = 370 \text{ г} = 0,370 \text{ кг}.$$



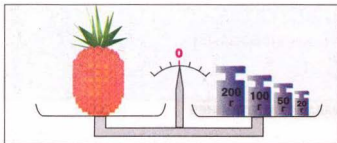


Рис. 59



Рис. 60

Для взвешивания используют специальный набор гирь разной массы. На рисунке 60 изображён набор гирь к учебным весам. В нём есть 9 гирь массой 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2 и 1 г. С их помощью можно подобрать любую массу от 1 до 210 г. Гири, масса которых меньше 1 г, изготавливают из алюминия в виде пластинок массой 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10 мг.

С помощью специальных весов можно измерять как большие, так и малые массы. В таблице 4 приведены массы тел живой природы, а также массы тел, созданных человеком.

Таблица 4

Живая природа	Масса тела	Тела, созданные человеком	Масса тела
Комар	7 мг	Микросхема	900 мг
Зерно	30 мг	Первый спутник	83 кг
Человек	70 кг	Автомобиль ЗАЗ «Таврия»	710 кг
Страус	100 г	Трактор К-700	11 т
Зубр	1000 кг	Электровоз	200 т
Слон	7 т	Самолёт «Мрия» с космическим кораблём «Буран»	560 т
Кит	150 т		

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Кроме системных существуют и другие единицы массы. Например, массу драгоценных камней измеряют в каратах: 1 карат = 0,2 г. В Киевской Руси единицей массы была 1 гривна, которая составляла приблизительно 410 г. Позднее эту единицу стали называть фунтом: 1 фунт = 0,025 пуда = 32 лота = 96 золотников = 9216 долей = 0,4 кг. Распространённой была и такая единица массы, как пуд (около 16 кг). Для взвешивания лекарств используются граны: 1 гран = 0,6 г. По традиции ещё применяют унцию, значение которой в зависимости от области применения лежит в пределах 28–31 г.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое масса тела?
2. Расскажите, как можно измерить массу тела.
3. Что такое взвешивание?
4. Какие вы знаете единицы массы?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. На столе лежит книжка. Вследствие взаимодействия с какими телами книжка находится в состоянии покоя?

Ответ: книжка взаимодействует с Землёй, а также со столом.

2. Почему с разбега можно прыгнуть на большее расстояние, чем без разбега?

Ответ: за счёт инерции.

3. На рисунке 61, а, б, в изображён процесс измерения массы воды с помощью весов. Какова масса сосуда с водой? Какова масса пустого сосуда? Какова масса воды в сосуде?

Ответ:

- а) весы были уравновешены;
- б) масса сосуда с водой составляла  $70\text{ г } 200\text{ мг} = 70,2\text{ г} = 0,0702\text{ кг}$ ;
- в) масса пустого сосуда —  $15\text{ г } 600\text{ мг} = 15,6\text{ г} = 0,0156\text{ кг}$ ; масса воды в сосуде —  $54\text{ г } 600\text{ мг} = 54,6\text{ г} = 0,0546\text{ кг}$ .

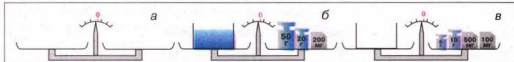


Рис. 61

#### Уровень А

78. Останется ли лодка в состоянии покоя, если человек из неё спрыгнет на берег? Почему?
79. Вы забиваете гвоздь в стену. Какие тела взаимодействуют при этом?
80. Почему тяжело идти против ветра? С какими физическими телами взаимодействует человек при этом?
81. На ветви сидит птичка. Что произойдёт с веткой в тот момент, когда птичка взлетит?
82. При выстреле из ружья ощущается удар в плечо — отдача. Чем объясняется это явление?
83. Почему большинство велосипедов имеют привод тормоза на заднее колесо, а не на переднее?
84. Какое явление изображено на рисунке 62, где спортсмен летит вперёд, оторвавшись от земли?
85. Капли воды срываются с ветвей растений, а с рук их встряхивают. Какое различие между этими явлениями?



Рис. 62



Рис. 63

86. Пассажиры автобуса ощутили, что они наклоняются в левую сторону. Как двигался автобус в этот момент?
87. Почему может упасть споткнувшийся человек? В какую сторону?
88. Почему при резком торможения автомобиля его передняя часть опускается вниз?
89. Почему на поворотах шофёр, мотоциклист, велосипедист уменьшают скорость движения своего транспорта?
90. Какое значение массы присуще каждому из существ, изображённых на рисунке 63: 50 т, 4 т, 500 кг, 70 кг, 350 г, 13 г?
91. Определите массу свинцового цилиндра (рис. 64).
92. Рассмотрите шкалу настольных торговых весов в магазине, определите цену деления шкалы и объясните, почему на весах можно взвешивать продукты массой не менее 50 г?

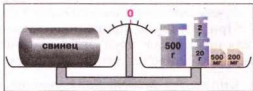


Рис. 64

### Уровень Б

93. Почему, сидя в лодке и упираясь ногами в сиденье, нельзя сдвинуть лодку с места? Взаимодействуют ли при этом человек и лодка?
94. Для уменьшения толчков во время езды кузова автомобилей устанавливают на рессорах. Что происходит с рессорами, когда автомобиль нагружен или он едет по выбоинам?
95. Выполните такой опыт: в вагоне поезда (в автобусе или автомобиле), движущемся равномерно, подбросьте вверх яблоко. Упадет ли оно обратно в руки? Объясните результаты опыта.
96. Заяц, спасаясь от собаки, которая за ним гонится, совершает резкие прыжки в сторону, когда собака уже вот-вот ухватит его зубами. Почему собаке трудно поймать зайца, хоть и бежит она быстрее?
97. Выполните такой опыт: положите на край стола лист бумаги, а сверху на него — несколько книг так, чтобы часть листа выступала. Что будет с книгами, если лист бумаги вы будете медленно тянуть? Потянете рывком? Повторите опыт, заменив книги



Рис. 65

тетрадь, несколькими монетами. Одинаковы ли результаты опытов в каждом случае? Ответы запишите в тетрадь.

98. Как с помощью весов можно определить, сколько приблизительно гвоздей находится в ящике, если их общая масса равна 15 кг (без ящика)?
99. Бандероли, а также заказные и ценные письма на почте взвешивают на специальных весах (рис. 65) с точностью до 1 г. Почтовые марки наклеивают на письмо после его взвешивания. Есть ли необходимость в повторном взвешивании писем, если масса марок колеблется от 20 до 150 мг?
100. Определите массу воды, которую впитала салфетка, используя сосуд с водой и весы.
101. Определите длину медного провода в мотке, не разматывая его, используя только весы.
102. Почему при приближении к пристани на теплоходе выключают двигатели? Можно ли явление инерции использовать для экономии топлива? Каким образом?

## § 17 СИЛА

При изучения природных явлений используют разные физические величины. Для того чтобы описать качественно и количественно взаимодействие тел, вводят физическую величину, которую называют **силой**.

**Сила – это физическая величина, которая служит мерой взаимодействия тел и является причиной изменения скоростей тел или их частей.**

♦ **Наблюдение.** Если мы рассматриваем, например, взаимодействие руки с волейбольным мячом, то мы говорим: «Мяч действует с силой на руку или рука действует с силой на мяч».

♦ **Опыт.** Подвесим на пружину яблоко (рис. 66). Пружина удлинится. Если на неё подвесить два яблока, то она удлинится больше. Итак, два яблока действуют на пружину с большей силой, чем одно.

**Результат действия одного тела на другое зависит от значения приложенной силы.**

Чем плотнее закрыта дверь, тем с большей силой мы должны её толкать или тянуть на себя, чтобы отворить.

Для того чтобы легче открывать дверь, её ручку прикрепляют как можно дальше от петель. Попробуйте открыть дверь, толкая её в точке, размещённой вблизи петель. Вы убедитесь, что это сделать намного труднее, чем с помощью ручки.

**Результат действия одного тела на другое зависит от точки приложения силы.**

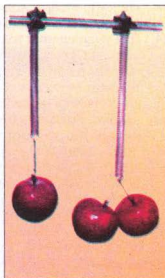


Рис. 66

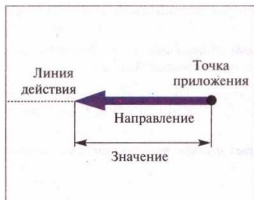


Рис. 67



Рис. 68

Для достижения определённого результата действия, например, растяжения или сжатия пружины, закрытия или открытия двери, нужно прикладывать силы в разных направлениях.

**Действие одного тела на другое зависит от направления действия силы.**

Графически силу изображают в виде отрезка прямой со стрелкой на конце (рис. 67).

Начало отрезка совмещают с точкой приложения силы. Длина отрезка в определённом масштабе равна значению силы. Стрелка показывает направление силы. Величины, характеризующиеся кроме числового значения еще и направлением в пространстве, называют векторными, или **векторами** (от латинского слова *вектор* — ведущий, несущий).

Силу обозначают большой латинской буквой  $F$ .

На рис. 68 спортсменка приготовилась стрелять из лука. В этом случае её рука действует на тетиву с силой  $F$ , направленной вправо, а тетива действует на руку с такой же по значению силой, направленной влево. Итак, значения сил одинаковы, но их направления противоположны.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое сила?
2. От чего зависит действие одного тела на другое?
3. Покажите, как изображают силу на рисунках. Как ее обозначают?

## § 18

### СИЛА ТЯЖЕСТИ

*Почему все подброшенные вверх тела падают на Землю? Почему на санках легко съезжать с горки, а вверх их нужно тянуть?*

Подбросьте вверх мяч. Поднявшись на некоторую высоту, он начнёт двигаться вниз и упадёт на Землю. Парашютист, выпрыгнувший из самолёта, падает вниз и после раскрытия парашюта. С появлением дождевой

тучи на Землю падает густой дождь. Как бы высоко мы не прыгали вверх, всегда опускаемся на Землю.

**Все тела, находящиеся на Земле или вблизи неё, взаимодействуют с ней: Земля притягивает тела, а они притягивают Землю.**

Поскольку масса у Земли очень большая, то в результате взаимодействия с нею заметно изменяют свои скорости и положения именно тела, а Земля практически остаётся на месте.

**Силу, с которой Земля притягивает к себе любое тело, называют силой тяжести.**

От чего зависит сила тяжести?

Из опыта с яблоками, выполненного ранее, можем сделать вывод, что на два яблока, подвешенных на пружине, действует сила тяжести больше, чем на одно, так как масса двух яблок больше массы одного.

Силу тяжести обозначают  $F_{\text{тяж}}$ .

Единицей силы тяжести, как и любой другой, в СИ является один ньютон (1 Н). Эта единица названа в честь английского учёного Исаака Ньютона, впервые сформулировавшего основные законы движения тел и законы тяготения.

**1 ньютон (1 Н) равен силе тяжести, которая действует на тело массой приблизительно 102 г.**

Тогда на тело массой 1 кг действует сила тяжести 9,81 Н, т. е.  $F_{\text{тяж}} = 9,81 \text{ Н}$ . Как, пользуясь единицей силы 1 Н, определить силу тяжести, которая действует на тело любой массы?

Поскольку на тело массой 1 кг действует сила тяжести 9,81 Н, то на тело массой  $m$  будет действовать сила тяжести, в  $m$  раз большая.

Чтобы определить силу тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , действующую на тело, нужно постоянную для данной местности величину  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$  умножить на массу тела  $m$ , выраженную в килограммах:

$$F_{\text{тяж}} = gm.$$

Но притяжение существует не только между Землёй и телами на ней или вблизи неё. Все тела притягиваются друг к другу. Например, притягиваются между собой Земля и Луна, Солнце и Земля или другие планеты, корабли в море, предметы в комнате. Вследствие притяжения Земли к Луне на Земле возникают приливы и отливы (рис. 69). Вода в океанах поднимается дважды в сутки на несколько метров.

Благодаря силе тяжести атмосфера удерживается возле Земли, реки текут сверху вниз, Луна удерживается возле Земли, планеты двигаются по орбитам вокруг Солнца.



Рис. 69



## Явление притяжения всех тел Вселенной друг к другу называют всемирным тяготением.

Исаак Ньютон доказал, что сила притяжения между телами тем больше, чем больше массы этих тел и чем меньше расстояние между телами. Если бы сила тяжести на Земле вдруг исчезла, то все незакреплённые на ее поверхности тела от любого небольшого толчка разлетелись бы во все стороны в космическом пространстве.

*А каково направление силы тяжести?*

♦ **Опыт.** Если взять отвес или привязанный к нити какой-либо предмет (рис. 70), то увидим, что нить с грузиком вследствие действия на него силы тяжести всегда направлена к Земле вдоль прямой, которую называют вертикалью. Выполнив этот опыт во всех точках Земли, учёные убедились, что сила тяжести всегда направлена к центру Земли.

Силу тяжести изображают в виде вертикальной стрелки, направленной вниз и приложенной к определённой точке тела (рис. 71 а, б).



Рис. 70

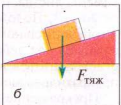
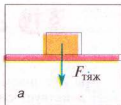


Рис. 71

## ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Кроме планет с их спутниками вокруг Солнца движатся малые планеты, которые ещё называют астероидами. Наибольшая из них – Церера – имеет статус карликовой планеты и радиусом почти в 20 раз, а по массе в 7500 раз меньше Земли. Сила тяжести на ней настолько мала, что человек, оттолкнувшись от поверхности планеты, мог бы улететь с неё.
- Вот как описывает основатель теории космонавтики К. Э. Циолковский в рассказе «Путь к звёздам» условия пребывания человека на этом астероиде: «На Земле я могу свободно нести ещё одога человека такого же веса, как я. На Весте так же легко могу нести в 30 раз больше. На Земле я могу подпрыгнуть на 50 см. На Весте такое же усилие даёт прыжок в 30 м. Это высота десятиэтажного дома или огромной сосны. Там легко перепрыгивать через рвы и ямы шириной с крупную реку. Можно перепрыгнуть через 15-метровые деревья и дома. И это без разгона».

## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Расскажите, что является причиной падения всех тел на Землю.
2. Какую силу называют силой тяжести?
3. По какой формуле определяют силу тяжести?
4. Подумайте, как изменится приложенная к телу сила тяжести, если его массу увеличить вдвое?
5. Каково направление силы тяжести?

**§ 19****СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА. ВЕС ТЕЛА.  
НЕВЕСОМОСТЬ**

Мы уже знаем, что на все тела, которые находятся на Земле или вблизи неё, действует сила тяжести. Эта сила является причиной того, что тела, лишённые опор или подвесов, например капли дождя, брошенный вверх камень, листья, оторвавшаяся от ветви дерева, падают на Землю.

♦ **Опыт 1.** Положим на две опоры стальную пластину. Она будет находиться в горизонтальном положении (рис. 72, а). Когда на середину ее поставим гирию, то под действием силы тяжести гирия вместе со стальной пластиной будет двигаться вниз до тех пор, пока не остановится (рис. 72, б). Почему прекратилось движение гири и стальной пластины?

Прекращение движения можно объяснить тем, что кроме силы тяжести, действующей на гирию и направленной вертикально вниз, на неё начала действовать сила, направленная вверх, которая уравнивала силу тяжести.

*Откуда возникла эта вторая сила?*

Изменение формы или размеров тела называют **деформацией**. Вследствие движения тела вниз стальная пластина прогибается — деформируется. В результате деформации в пластине возникает сила, с которой она действует на гирию, стоящую на ней. Эту силу назвали **силой упругости**, она направлена вверх, т. е. в сторону, противоположную силе тяжести. Когда сила упругости по значению сравняется с силой тяжести, опора и тело остановятся.

**Сила упругости — это сила, возникающая вследствие деформации тела, и направленная противоположно направлению перемещения частиц тела при деформации.**

Одним из видов деформации является прогиб. Чем больше прогибается опора, тем большей становится сила упругости, действующая со стороны опоры на тело. До того как тело поставили на пластину, деформация в ней отсутствовала, как и сила упругости. По мере перемещения гири прогиб пластины возрастал и увеличивалась сила упругости. Свойства упругих тел (пружин) всесторонне изучил более 300 лет назад английский естествоиспытатель Роберт Гук. Прделанные им опыты позволили установить закон, названный его именем — закон Гука, а именно:

**сила упругости прямо пропорциональна деформации (удлинению) тела (пружины) и направлена противоположно направлению перемещения частиц тела при деформации.**

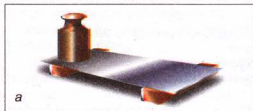


Рис. 72

Если удлинение тела, т. е. изменение его длины, обозначить через  $x$  (рис. 73, б), а силу упругости — через  $F_{\text{упр}}$ , то закона Гука можно предоставить в таком математическом виде:

$$F_{\text{упр}} = kx,$$

где  $k$  — коэффициент пропорциональности, который называют **жёсткостью тела**. У каждого тела свое значение жесткости.

Чем больше жёсткость тела (пружины, провода, стержня и т. п.), тем меньше оно изменяет собственную длину под действием данной силы.

Единицей жёсткости в СИ является **один ньютон на метр** ( $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ).

Закон Гука даёт возможность сравнивать между собой тела с разной массой, т. е. взвешивать их. Чем больше масса тела, которое подвешиваем к пружине, тем больше она растягивается. На этом принципе устроен прибор для измерения силы — **динамометр**.

♦ **Опыт 2.** Установим тело на опору (рис. 73, а). Вследствие взаимодействия деформируется не только опора, но и само тело, которое притягивается Землёй. Деформированное тело давит на опору с силой, которую называют весом тела  $P$ . Если тело подвесить к пружине, то оно деформируется и при этом растягивает пружину, в результате чего возникает сила упругости (рис. 73, б). Тело действует на подвес с силой, которую называют **весом тела  $P$** .

**Вес тела — это сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на горизонтальную опору или подвес.**

Не следует путать силу тяжести с весом тела. Сила тяжести действует на само тело со стороны Земли, а вес этого тела — это сила упругости, которая действует на опору или подвес.

Если горизонтальная опора или подвес с телом находится в состоянии покоя или движется прямолинейно и равномерно, то вес тела равен силе тяжести и определяется по формуле:

$$P = gm,$$

где  $P$  — вес тела;  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $m$  — масса тела.

Иногда путают вес тела с его массой — это ошибка. Во-первых, это разные физические величины, из которых вес — направленная величина, вектор, а масса определяется только числовым значением. Они характеризуют разные свойства тел и имеют разные единицы: для веса — ньютон, для массы — килограмм. Во-вторых, каждое тело всегда имеет определённую неизменную массу, а вес тела может изменяться, если опора или подвес движется неравномерно. В этом случае вес тела может

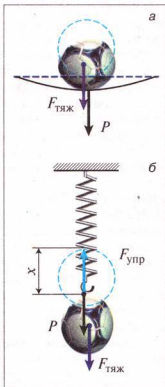


Рис. 73

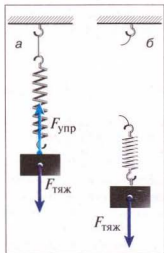


Рис. 74

увеличиваться или уменьшаться по сравнению с весом тела на неподвижной опоре и даже исчезать, т. е. равняться нулю (состояние **невесомости**). Например, поднимая грузы с помощью подъёмного крана, нужно учитывать, что во время резких рывков вес груза возрастает, и трос может разрываться. Стоя на платформе медицинских весов, мы замечаем, что их показания изменяются, если мы приседаем или двигаем руками.

Вес тела действует на любую опору: пол, по которому мы ходим, стул, на котором сидим, канат, за который ухватились. Назначение опоры — ограничивать движение тела под действием силы тяжести, отсюда и её название.

Начиная с 4 октября 1957 г., когда космическая ракета вывела на орбиту первый искусственный спутник Земли, началась эра освоения человеком космического пространства. Человек побывал на

Луне, готовится экспедиция на Марс. Мы часто слышим по радио и телевидению, читаем в газетах и журналах, что космонавты во время полёта в космическом корабле по орбите вокруг Земли находятся в особом состоянии, называемом **невесомостью**.

*Что это за состояние и можно ли его наблюдать на Земле?*

♦ **Опыт 3.** Верхний конец пружины с помощью нити прикрепим к неподвижной опоре, а к нижнему подвесим грузик (рис. 74, а). Под действием силы тяжести он начинает двигаться вниз. Пружина будет растягиваться до тех пор, пока возникающая в ней сила упругости не уравнивает силу тяжести. Перережем или пережжём нить, которая удерживает тело с пружиной. Пружина и тело начинают свободно падать, при этом растяжение у пружины исчезает, а это и означает, что тело потеряло вес и не действует на подвес (рис. 74, б). Сила тяжести при этом никуда не исчезает и заставляет тело падать на Землю.

Так же если скорости падения тела и опоры (подвеса) одинаковы, то тело не действует на них, и его вес равен нулю. Если искусственный спутник или космическая станция обращается вокруг Земли, то космонавты и все предметы внутри них движутся с одинаковой скоростью относительно Земли. Вследствие этого тела, размещённые на подставках, не действуют на них, подвешенные к пружинам тела не растягивают их, разлитая из сосуда вода плавает в виде большой капли, маятниковые часы перестают работать, космонавты без особых усилий передвигаются, «летая» или «плавая» в корабле.

Если бы сила тяжести внезапно исчезла, то космический корабль вследствие инерции удалялся бы от Земли в космическое пространство по прямой линии. В состоянии невесомости находится любое тело во время свободного, т. е. безопорного падения. Если при обычных условиях не учитывать сопротивление воздуха, то в невесомости находится спортсмен, прыгающий с вышки в бассейн или выполняющий упражнения на батуте; любой из нас одновременно находится в состоянии невесомости во время бега, когда обе ноги отрываются от Земли.

## ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- В давние времена благодаря упругим свойствам некоторых материалов (в частности, такого дерева, как тисс) наши пращуры изобрели лук – ручное оружие, предназначенное для метания стрел с помощью силы упругости натянутой тетивы.
- Изобретённый приблизительно 12 тыс. лет тому назад, лук на протяжении многих столетий был основным оружием почти всех племён и народов мира. До изобретения огнестрельного оружия лук был наиболее эффективным боевым средством. Английские лучники могли выпускать до 14 стрел в минуту, что при массовом использовании луков в бою образовывало целую тучу стрел. Например, количество стрел, выпущенных в битве при Азенкуре (во время Столетней войны), составляло приблизительно 6 миллионов!
- Широкое применение этого грозного оружия в средние века вызвало обоснований протест со стороны определённых слоёв общества. В 1139 г. Латеранский (церковный) собор, собравшийся в Риме, запретил применение этого оружия против христиан. Однако борьба за «лучное разоружение» не имела успеха, и лук как боевое оружие люди продолжали использовать ещё на протяжении 500 лет.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какую силу называют силой упругости? Когда она возникает?
2. Сформулируйте закон Гука?
3. Что такое жёсткость тела?
4. Что такое вес? Как его определяют? Всегда ли он постоянный?
5. Что такое невесомость? Где её можно наблюдать?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Назовите силы, которые действуют на груз, подвешенный к концу спиральной пружины.

Ответ: на груз действуют сила тяжести, направленная вертикально вниз, и сила упругости, направленная противоположно удлинению пружины.

2. Каков вес космического аппарата массой 383 кг на поверхности планеты Марс? На Марсе  $g = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$m = 383 \text{ кг}$$

$$g = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$P = ?$

Решение

Чтобы определить вес космического аппарата, используем формулу:  $P = gm$ .

$$P = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 383 \text{ кг} = 1493,7 \text{ Н.}$$

Ответ:  $P = 1493,7 \text{ Н}$ .

3. Космонавту в условиях невесомости необходимо заниматься физическими упражнениями. Понадобятся ли ему гантели?

Ответ: обычные упражнения на подъём веса в состоянии невесомости теряют смысл, но упражнения на преодоление инертности гантелей (махи, повороты, разведения рук и т. п.) выполнять вполне возможно. Тем не менее гантели как лишний груз скорее заменят на эспандер.

### Уровень А

103. Назовите силу, которая всегда действует одинаково в любом месте на Земле.
104. Почему выпущенный из рук предмет падает на Землю? Какая сила действует на него?
105. Какая сила вызывает падение на Землю града, образовавшегося в тучах? Какие физические тела взаимодействуют в этом случае?
106. Почему большие грузы, которые поднимают с помощью мостовых кранов, перемещают медленно?
107. Какие силы действуют на листву во время листопада?
108. Какие силы действуют на груз, опускающийся на парашюте? Какие тела здесь взаимодействуют?
109. Масса одного молотка равна 1,4 кг, а второго — 875 г. На какой молоток действует большая сила тяжести и во сколько раз?
110. Объясните результаты опыта (рис. 75).
111. За счёт каких сил стрела летит на определённое расстояние (рис. 76)?
112. Имеют ли вес жидкости и газы?
113. Каков вес человека на поверхности Земли, если его масса равна 76 кг?
114. Чему равен вес воды массой 10 кг?
115. Тело весит 750 Н. Какова масса тела?
116. В магазине купили 1 кг хлеба, 400 г масла, 1 кг 600 г колбасы и 2 кг сахара. Определите общий вес покупки.
117. У какого стола масса больше: весом 95 Н или 0,095 кН?
118. Всегда ли вес тела равен силе тяжести, действующей на это тело?
119. Всегда ли тело обладает весом?

### Уровень Б

120. Когда подняли тяжёлое бревно из мягкого грунта, то на нём осталась вмятина. Под действием какой силы в грунте образовалась вмятина?
121. Выполните такой опыт: положите горсть земли в стеклянную банку,

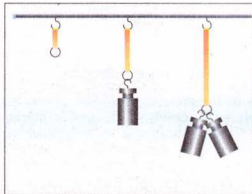


Рис. 75



Рис. 76



налейте воды и тщательно перемешайте смесь палочкой. Наблюдайте за движением частичек земли в воде. Потом дайте смеси отстояться. Какие частички земли выпадут в осадок первыми? Долго ли вода будет мутной? Как объяснить это явление?

122. Рассмотрите пружины амортизаторов мотоцикла, автомобиля, трактора. Чем они отличаются между собой?

123. Нейл Армстронг — первый человек, ступивший 20 июля 1969 г. на поверхность Луны (рис. 77). Определите вес астронавта на Луне, если его вес на Земле был равен 745 Н. Нужно учесть, что  $g_n = 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

124. В последнее время можно наблюдать, как смельчаки выполняют головокружительный трюк — прыжок в пропасть на канате (рис. 78). В каком состоянии находится человек в первые секунды прыжка? Какое свойство должен иметь канат, чтобы человек не погиб?

125. На сколько удлинится пружина жёсткостью  $200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , если к ней подвесили тело массой 5 кг?

126. Каков вес воды объёмом 250 см<sup>3</sup>?

127. Вес пустого ведра равен 15 Н. Каков будет вес этого ведра, если в него налить 12 л воды?

128. У первого искусственного спутника Земли на космодроме был вес 820 Н. Космический аппарат «Протон-1» имел массу 12,2 т. Во сколько раз масса «Протона-1» превышала массу первого спутника?

129. На Земле мальчик свободно может поднять тело, вес которого 60 Н. Какой массы тело он мог бы поднять на Луне, прикладывая такое же усилие? Сила притяжения тел Луной в 6 раз меньше, чем Землей.

130. Какая физическая величина — масса строительных материалов или их вес — имеет главное значение при расчете мостов и других сооружений?

131. Какая из физических величин — масса тела или его вес — представляет наибольший интерес: для охотника, покупающего свинцовую дробь, или для спортсмена, выбирающего гантели?



Рис. 77



Рис. 78

132. В первые секунды подъёма в скоростном лифте высотного дома человек ощущает, что его прижимает к полу, а в начале спуска наоборот, он ощущает некоторое облегчение. Одинаковы или различны в эти моменты: а) масса человека; б) сила тяжести, действующая на тело человека; в) вес человека?
133. Для занятий акробатикой применяют батут — упругую сетку, укреплённую в горизонтальном положении. Спортсмен-акробат может выполнять на батуте многократные прыжки на значительно большую высоту, чем без батута. Изменяется ли во время прыжков сила тяжести, действующая на тело спортсмена? Изменяется ли вес спортсмена? Когда сила тяжести, действующая на спортсмена, меньше силы упругости, возникающей со стороны сетки? В каком случае сила тяжести, действующая на спортсмена, равна силе упругости, возникающей со стороны сетки?
134. Притягиваются ли Землёй искусственные спутники Земли и предметы, находящиеся в состоянии невесомости в космическом корабле?

## § 20 ДИНАМОМЕТРЫ. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ

Устройство **динамометра** (от греческих слов *динамис* — сила; *метрео* — измеряю) основано на том, что сила упругости пружины по закону Гука прямо пропорциональна удлинению (деформации) пружины.

Простейший пружинный динамометр изготавливают так. На дощечке закрепляют пружину, которая заканчивается внизу стержнем с крючком (рис. 79, а). К верхней части стержня прикрепляют указатель. На дощечке отмечают положение указателя — это нулевой штрих. Потом к крючку подвешивают разновесы массой 102 г. На этот грузик действует сила тяжести 1 Н. Под действием силы 1 Н пружина растянется, указатель опустится вниз. Отмечают его новое положение и напротив метки ставят цифру 1 (рис. 79, б). Потом подвешивают разновесы массой 204 г и ставят метку 2, которая означает, что в этом положении сила упругости пружины равна 2 Н (рис. 79, в). С помощью разновесов массой 306 г наносят метку 3 (рис. 79, г) и т. д. Можно нанести деления, соответствующие десятым долям ньютона: 0,2; 0,4; 0,6 и т. д. Для этого промежутки между соседними штрихами нужно поделить на пять одинаковых частей.

**Проградуировать прибор — это значит нанести на него шкалу с делениями.**

Проградуированная таким образом пружина и будет простейшим динамометром. Для измерения силы используют такие динамометры (рис. 80): а — школьный лабораторный

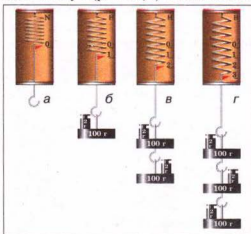


Рис. 79

динамометр; *б* — школьный демонстрационный динамометр; *в* — пружинные весы; *г* — медицинский динамометр-силомер, предназначенный для измерения силы мышц руки человека; *д* — динамометр-тягомер. Основной частью такого динамометра являются упругие стальные рессоры. Этот прибор используют для измерения силы тяги автомобилей, тракторов и т. п.

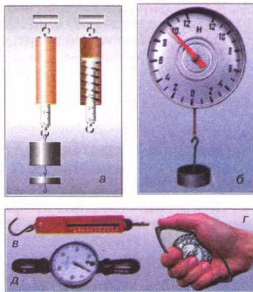


Рис. 80



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие приборы предназначены для измерения силы?
2. Расскажите, как можно изготовить простейший динамометр?
3. Для чего используют силомер? Динамометр-тягомер? Какова цена деления шкалы динамометра на рисунке 80, б?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### КОНСТРУИРОВАНИЕ ДИНАМОМЕТРА

- **Цель работы:** изготовить пружинный динамометр.
- **Приборы и материалы:** стальная проволока, металлическая трубка диаметром 1 см, куски фанеры или оргстекла, инструменты для обработки дерева или оргстекла, набор грузиков, бумага, карандаш.

#### Ход работы

Простейший пружинный динамометр изготовляют так.

1. Стальную проволоку (например, струну от гитары) нагревают на пламени газовой плиты до красного свечения. После остывания проволока становится мягкой.
2. Проволоку выравнивают. Потом на металлическую трубку диаметром 1 см наматывают проволоку очень плотными рядами до тех пор, пока не получают спираль длиной 4 см.
3. Спираль сжимают и закрепляют так, чтобы она не раскручивалась, затем помещают в пламя. Когда она раскалится докрасна, её опускают в холодную воду. Спираль закалится и приобретёт упругость и жёсткость. Отогнутые концы спирали отпускают (снова разогревают и дают остыть).

4. К предварительно изготовленному каркасу динамометра из дерева или оргстекла прикрепляют изготовленную пружину (каркас нужно сделать заранее к лабораторной работе, например в школьной мастерской или физическом кабинете).
5. Проградуируйте шкалу динамометра, используя набор разновесов (рис. 79, а–г).
6. Нарисуйте в тетради полученную вами шкалу динамометра.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ИЗМЕРЕНИЕ СИЛ С ПОМОЩЬЮ ДИНАМОМЕТРА. ИЗМЕРЕНИЕ ВЕСА ТЕЛ

- **Цель работы:** научиться измерять динамометром силы, действующие на тела, вес и массу тела.
- **Приборы и материалы:** изготовленный динамометр, разные тела.

#### Ход работы

1. Определите цену деления шкалы изготовленного вами динамометра. Цена деления шкалы динамометра составляет ... Н.
2. Измерьте динамометром силу тяжести, действующую на подвешенные к нему тела, определите их вес и массу. Результаты занесите в табл. 1.

Таблица 1

№ опыта	Название тела	Сила тяжести, действующая на тело, $F_{\text{тяж}}$ , Н	Вес тела, $P$ , Н	Масса тела, $m$ , кг
1				
2				
3				

3. Измерьте удлинение пружины динамометра  $x$  во время приложения силы 1 Н, 2 Н, 3 Н и 4 Н. Результаты измерений занесите в табл. 2.

Таблица 2

$F_{\text{упр}}$ , Н	0	1	2	3	4
$x$ , см					

4. По данным таблицы 2 постройте график зависимости силы упругости от удлинения пружины  $F_{\text{упр}}(x)$ . Сделайте выводы.

## § 21 СИЛА ТРЕНИЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

• **Наблюдение.** Автомобиль после выключения двигателя через определённое время останавливается. Шайба, движущаяся по льду, также со временем остановится. Останавливается велосипед, если прекратить крутить педали.

*Что же является причиной уменьшения скорости движения тел?*

Из ранее изученного вы знаете, что причиной изменения скорости движения тел есть действие одного тела на другое. Значит, в рассматриваемых случаях на каждое движущееся тело действовала сила. Тела остановились, поскольку на них в направлении, противоположном их движению, действовала сила, называемая **силой трения**  $F_{\text{тр}}$ .

**Сила трения возникает между взаимодействующими твёрдыми телами в местах их соприкосновения и препятствует их относительному перемещению.**

Одной из причин возникновения силы трения является шероховатость соприкасающихся поверхностей тел. Даже гладкие на вид поверхности тел имеют неровности, бугорки и царапины. На рисунке 81 эти неровности изображены в увеличенном виде. Когда одно тело скользит по поверхности другого, эти неровности зацепляются одна за другую, что создает силу, затрудняющую движение. Вторая причина трения — взаимное притяжение молекул соприкасающихся поверхностей тел. Если поверхности тел очень хорошо отполированы, то их молекулы оказываются так близко друг от друга, что начинает заметно проявляться притяжение между ними. Различают несколько видов трения в зависимости от того, как взаимодействуют трущиеся тела: трение покоя, трение скольжения, трение качения.

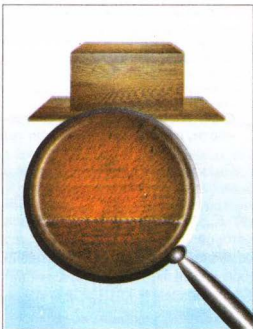


Рис. 81

♦ **Опыт 1.** Положим брусок на наклонную доску. Брусок находится в состоянии покоя. *Что удерживает его от соскальзывания вниз?* Трение покоя обеспечивает сцепление бруска и доски.

♦ **Опыт 2.** Прижмите свою руку к тетради, лежащей на столе, и передвиньте её. Тетрадь будет двигаться относительно стола, но находиться в покое относительно вашей ладони. *С помощью чего вы принудили эту тетрадь двигаться?* С помощью трения покоя тетради об руку. Трение покоя перемещает грузы, которые размещаются на подвижной ленте транспортёра, предотвращает развязывание шнурков, удерживает шурупы и гвозди в доске и т. п.

Если тело скользит по другому, то трение, возникающее при этом, называют **трением скольжения**. Такое трение возникает при движении саней или лыж по снегу, подошв обуви по земле.

Если одно тело катится по другому, то говорят о трении качения. При качении колес вагона, автомобиля, телеги, при перекатывании бочек по земле проявляется **трение качения**.

*А от чего зависит сила трения?*

♦ **Опыт 3.** Прикрепим к бруску динамометр и будем тянуть его, сообщая бруску равномерное движение (рис. 82). При этом динамометр будет показывать силу, с которой мы тянем брусок, а тем самым и силу трения, возникающую во время движения бруска по поверхности стола. Положим на брусок грузики и повторим опыт. Динамометр зафиксирует большую силу трения.

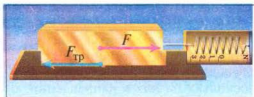


Рис. 82

► **Чем большая сила прижимает тело к поверхности, тем большая сила трения возникает при этом.**

Выполним предыдущий опыт, но тело будем двигать по поверхности стекла, по бетону. Выясним, что сила трения зависит от материала и качества поверхности, по которой движется тело.

► **Сила трения зависит от материала и качества обработки поверхности, по которой движется тело.**

Силу трения скольжения определяют по формуле:

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где  $F_{\text{тр}}$  — сила трения скольжения;  $N$  — сила реакции опоры, значение которой равно силе давления тела на поверхность скольжения;  $\mu$  — коэффициент трения скольжения. Если поверхность скольжения горизонтальна, то сила давления на неё равна весу тела, т. е.  $N = P = mg$ , а  $F_{\text{тр}} = \mu mg$ , где  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $m$  — масса тела.

В таблице 5 указаны коэффициенты трения скольжения для некоторых пар материалов.

Таблица 5

Материалы	Коэффициент трения
Сталь по стали	0,17
Железо по железу	0,30
Железо по чугуну и бронзе	0,18
Дуб по дубу при параллельных волокнах	0,40
Дуб по дубу при перпендикулярных волокнах	0,20
Сталь по льду	0,02
Сталь по твёрдому грунту	0,20 – 0,40
Дерево по льду	0,035



♦ **Опыт.** Положим деревянный брусок на круглые карандаши (рис. 83). Потянем брусок динамометром, карандаши за счёт трения между ними, бруском и доской начнут вращаться, а брусок — двигаться. Сила трения качения окажется меньше силы трения скольжения.

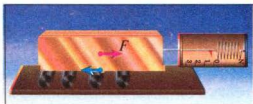


Рис. 83

**При одинаковых нагрузках сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения.**

Рассматривая швейную иглу, вы сразу заметите, что она отполирована до блеска. Для чего нужна такая полировка? А легко ли шить заржавевшей иглой? Здесь вы непосредственно ощущаете, какую роль играет трение в быту.

В природе и технике трение может быть и полезным, и вредным. Когда оно полезное, его стараются увеличить, а когда вредное — уменьшить.

Из-за трения изнашиваются механизмы и машины, стираются подошвы обуви и шины автомобилей, усложняется перемещение разных грузов. Но представьте, что трение исчезло. Тогда движущийся автомобиль не смог бы остановиться, а неподвижный — сдвинуться с места; пешеходы упали бы на дорогу и не смогли бы подняться; ткани распались бы на нити, так как они удерживаются трением; вы даже не смогли бы перелистать страницы этого учебника.

Вы, наверное, неоднократно замечали, что на автомобильных шинах есть рельефные рисунки (так называемые протекторы), которые размещены вдоль и поперёк шины (рис. 84). Они сделаны для увеличения трения, т. е. силы сцепления колёс с полотном дороги. Поперечные полосы увеличивают сцепление колеса с полотном дороги, а продольные полосы и выступы, размещённые под углом, препятствуют боковому смещению, соскальзыванию автомобиля.

Во всех машинах вследствие трения нагреваются и изнашиваются подвижные части. Чтобы уменьшить трение, соприкасающиеся поверхности



Рис. 84

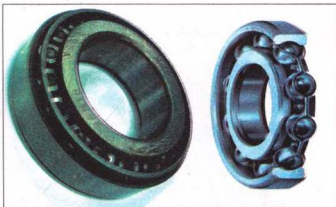


Рис. 85

делают гладкими и между ними вводят смазочное масло, поскольку трение между поверхностью твердого тела и жидкостью значительно меньше, чем между поверхностями твердых тел. Вращающиеся валы машин и станков устанавливают на подшипниках. Подшипники качения бывают шариковыми и роликовыми (рис. 85). Они дают возможность уменьшить силу трения в 20–30 раз по сравнению с подшипниками скольжения.

Известно, что смазка трущихся поверхностей значительно уменьшает трение между ними. Почему же тяжелее удерживать топориче топора сухой рукой, чем влажной? Оказывается, что при смазке дерева мелкие волокна на его поверхности набухают, поэтому трение между рукой и топоричем увеличивается, что и помогает удерживать топор в руках.

• **Наблюдение.** Когда вы стараетесь бежать в воде бассейна, реки или озера, то ощущаете большое сопротивление со стороны воды и не можете передвигаться быстро. Переноса лёгкие большие предметы в ветреную погоду, вы ощущаете такое сопротивление со стороны ветра, что вам очень тяжело идти. Когда в безветренную погоду вы стоите у дороги и мимо вас проезжает большой грузовой автомобиль на большой скорости, то вы обязательно ощутите ветер, сопровождающий движение автомобиля. Сила этого ветра тем больше, чем выше скорость автомобиля.

**Силы трения, возникающие при движении тел в жидкости или газе, называют силами сопротивления среды.**

Сила сопротивления зависит от формы тела. Ракетам, самолётам, подводным лодкам, кораблям и автомобилям придают обтекаемую форму, т. е. форму, при которой сила сопротивления минимальна.

♦ **Опыт.** Возьмём два измерительных цилиндра, напомним один из них водой, а второй — постным или машинным маслом. Бросим одновременно в них одинаковые металлические шарики. В результате опыта увидим, что шарик в воде упадёт на дно быстрее, чем в масле, т. е. сила сопротивления движения шарика в масле больше, чем в воде.

Лодки, корабли не могут развить таких скоростей, какие развивают самолёты, так как сила сопротивления движения в воде намного больше, чем в воздухе.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие бывают виды трения?
2. Назовите причины возникновения трения.
3. Как определяют силу трения скольжения?
4. Почему трение может быть и полезным, и вредным?
5. Какими способами можно уменьшить силу трения?
6. Какие силы называют силами сопротивления?

**ЛАБОРАТОРНАЯ  
РАБОТА № 7**
**ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

- **Цель работы:** на опытах определить коэффициент трения скольжения.
- **Приборы и материалы:** динамометр, деревянный брусок, деревянная линейка, набор грузиков.

**Ход работы**

1. Определите динамометром массу бруска и одного грузика.
2. Положите брусок на горизонтально размещённую деревянную линейку. На брусок поставьте грузик.
3. Прикрепите к бруску с грузиком динамометр и тяните его вдоль линейки с постоянной скоростью (рис. 86). Занесите показания динамометра в таблицу.

№ опыта	Масса бруска с грузиками, $m$ , кг	Сила трения, $F_{\text{тр}}$ , Н	Сила реакции опоры, $N = mg$ , Н	Коэффициент трения скольжения, $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{F_{\text{тр}}}{mg}$
1				
2				
3				

4. К первому грузику добавьте второй, а потом — третий, каждый раз взвешивая брусок и грузики и измеряя силу трения. Для каждого опыта определите силу реакции опоры, значение которой в условиях каждого опыта равна весу бруска и грузиков, по формуле  $N = mg$ . Результаты измерений и расчётов запишите в таблицу.
5. Определите коэффициент трения скольжения для каждого случая по формуле  $\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N} = \frac{F_{\text{тр}}}{mg}$ .
6. По результатам измерений и расчётов постройте график зависимости силы трения от силы реакции опоры и, пользуясь им, определите среднее значение коэффициента трения скольжения  $\mu$ . Сделайте выводы.

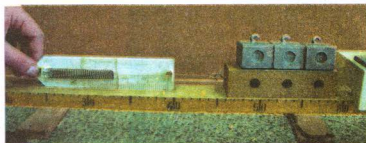


Рис. 86

## § 22 РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА. ДВИЖЕНИЕ ТЕЛА ПОД ДЕЙСТВИЕМ НЕСКОЛЬКИХ СИЛ

Обычно на любое движущееся тело действует не одно, а сразу несколько окружающих тел. Например, когда тянем брусок по линейке, то брусок взаимодействует и с рукой (сила тяги), и с Землёй (сила тяжести), и с поверхностью линейки (сила трения скольжения, сила реакции опоры). В этом случае общее действие на тело нескольких сил можно заменить равнодействующей силой.

**Силу, которая оказывает на тело такое же действие, как и несколько отдельных сил, одновременно приложенных к нему, называют равнодействующей силой.**

Равнодействующую силу определяют в зависимости от направлений и значений отдельных составляющих сил.

Если к телу приложены две силы  $F_1$  и  $F_2$ , которые направлены вдоль одной прямой в одну сторону, то их равнодействующая  $F_{\text{равн}}$  равна сумме этих сил (рис. 87), а её направление совпадает с направлением приложенных сил.

$$F_{\text{равн}} = F_1 + F_2.$$

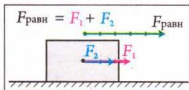


Рис. 87

Если к телу приложены две силы  $F_1$  и  $F_2$ , направленные вдоль одной прямой, но в разные стороны, то, когда  $F_1$  больше, чем  $F_2$ , их равнодействующая  $F_{\text{равн}}$  равна разности этих сил, а её направление совпадает с направлением большей по значению приложенной силы  $F_1$  (рис. 88):

$$F_{\text{равн}} = F_1 - F_2.$$

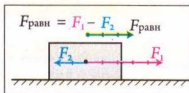


Рис. 88

Если в этом случае  $F_1 = F_2$ , то их равнодействующая равна нулю, т. е. силы  $F_1$  и  $F_2$  *уравновешивают*, или *компенсируют* друг друга. Поэтому покоящееся тело таким и останется, а движущееся будет продолжать двигаться прямолинейно и равномерно с начальной скоростью.

*Как будет двигаться тело, если на него будут действовать одновременно несколько сил?*

♦ **Опыт 1.** Положим брусок на стол (рис. 89). На него действуют две силы: сила тяжести  $F_{\text{тяж}} = mg$  и сила реакции опоры  $N = mg$ . Эти силы одинаковы по значению, но противоположны по направлению, поэтому, их равнодействующая, или результирующая сила равна нулю.

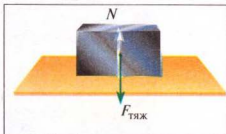


Рис. 89

♦ **Опыт 2.** Будем тянуть брусок с помощью нити или динамометра по поверхности стола (рис. 90, а). В этом случае на тело будут действовать такие силы: сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , сила реакции опоры  $N$ , сила тяги  $F$  и сила трения  $F_{\text{тр}}$ .

Если  $N = F_{\text{тяж}}$  и  $F = F_{\text{тр}}$ , то тело будет двигаться равномерно, т. е. скорость тела не будет изменяться со временем.

Если  $N = F_{\text{тяж}}$ , а сила тяги  $F$  больше силы трения  $F_{\text{тр}}$ , то при движении тела его скорость будет возрастать со временем, т. е. тело будет двигаться неравномерно (рис. 90, б).

♦ **Опыт 3.** Толкнём брусок так, чтобы он двигался по поверхности стола. На него будут действовать сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , сила реакции опоры  $N$  и сила трения  $F_{\text{тр}}$ . Поскольку  $N = F_{\text{тяж}}$ , то они компенсируют друг друга, и влиять на движение бруска будет только сила трения  $F_{\text{тр}}$  (рис. 91). Поскольку сила трения всегда направлена против движения, то брусок со временем остановится, что и наблюдаем на опыте.

В зависимости от значения равнодействующей силы, тело может находиться в состоянии покоя, двигаться равномерно или неравномерно.

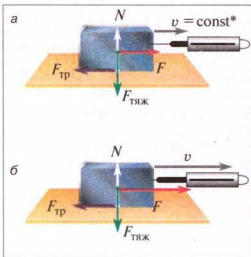


Рис. 90

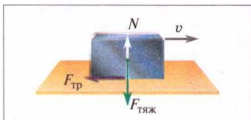


Рис. 91



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют равнодействующей силой?
2. Как может двигаться тело под действием нескольких сил?
3. Когда тело находится в покое или движется равномерно?
4. Почему тело движется неравномерно?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Можно ли взвесить брусок весом 8 Н, если имеются только два одинаковых динамометра, рассчитанных на измерение силы 4 Н?

Ответ: можно. Нужно укрепить оба динамометра рядом на одном уровне, а брусок подвесить сразу к обоим крючкам. При условии полного растяжения пружин динамометров к бруску будут приложенные две силы упругости по

\* В естественных науках постоянные величины символически обозначают словом const (от латинского *constans* — постоянный, неизменный).

4 Н каждая вдоль одной прямой, направленные вверх. Их равнодействующая будет равна 8 Н и уравновесит силу тяжести, действующую на брусок.

2. Каково назначение насечек на рабочих поверхностях плоскогубцев?

Ответ: за счёт насечек возрастает трение между деталью и рабочими поверхностями плоскогубцев, что обеспечивает надёжное удержание детали во время работы.

3. Стальное тело массой 50 кг тянут по льду. Какая сила трения возникает при этом?

Дано:

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\mu = 0,02$$

$$F_{\text{тр}} = ?$$

Решение

Чтобы определить силу трения, воспользуемся формулой

$$F_{\text{тр}} = \mu N = \mu gm.$$

$$F_{\text{тр}} = 0,02 \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 50 \text{ кг} = 9,81 \text{ Н}.$$

$$\text{Ответ: } F_{\text{тр}} = 9,81 \text{ Н}.$$

### Уровень А

135. Двое учеников канатом тянут к берегу лодку. Один из них прикладывает силу, равную 120 Н, а второй — 100 Н. Какая сила действует на лодку?
136. Какую силу покажет динамометр, к которому нитью прикреплены связанные между собой грузики весом 10 Н, 20 Н и 40 Н?
137. Почему шайба, движущаяся по гладкой ледяной поверхности, в конце концов останавливается?
138. Почему лыжник, стремительно спустившийся с горы, едет дальше по ровной горизонтальной поверхности снежного поля с уменьшающейся скоростью?
139. Почему вода в реках возле берегов и дна течёт немного медленнее, чем посередине реки?
140. Рассмотрите внимательно, как сотканы из нитей марля и ситец. Что произошло бы с тканью, если бы не было трения?
141. Почему мука или крупы, если их высыпать из стакана на стол, образуют кучку конической формы, а вода растекается тонким слоем?
142. Почему неопытный конькобежец падает назад, съезжая со снеговой дорожки на гладкий лёд катка, а, возвращаясь со льда на дорожку, падает вперёд?
143. Сила трения качения меньше силы трения скольжения. Почему же зимой ездят на санях, а не на телеге?
144. Колёса подводы, движущейся по дороге, иногда не вращаются. При каких условиях это может быть?
145. Зачем зимой на колёса автомобилей надевают цепи?
146. Для чего электровозы и тепловозы оборудованы песочницами, из которых песок тоненькими струйками сыпется на рельсы?
147. Для чего гимнасты в спортивном зале натирают обувь канифолью, руки — порошком, хорошо впитывающим влагу (жжёная магнезия), а футболисты обувают бутсы с шипами?
148. Зачем вратарь футбольной команды во время игры пользуется специальными перчатками, особенно в дождливую погоду? Каким требованиям должны удовлетворять такие перчатки?



149. На рис. 92 изображён кузнечик. Каково назначение зубцов на его лапках?
150. Какая сила трения действует во время движения железного тела массой 2 кг по железной поверхности?



Рис. 92

### Уровень Б

151. Как можно двумя динамометрами измерить силу 80 Н, если каждый из них рассчитан на 50 Н?
152. Положите на ладонь монету и попробуйте, проводя по ней щёткой для одежды, смести её с ладони. Как объяснить наблюдаемое явление?
153. Зачем на головке и в верхней части гвоздя делают насечки?
154. Капли дождя легко скатываются по наклонной поверхности кровли, а снег на крышах собирается толстым пластом. Как объяснить это явление?
155. Почему разведённой пилой легче пилить, чем неразведённой? Одинаково ли разводят пилы для резки сухого и влажного дерева?
156. Почему нагружённый автомобиль буксует на плохой дороге меньше, чем пустой?
157. Грузовой автомобиль с прицепом должны перевезти тяжёлый станок. Что лучше загрузить: кузов автомобиля или прицеп? Почему?
158. Для чего во время гололедицы дорожки посыпают песком?
159. Почему коньки и санки хорошо скользят по льду? Почему в сильные морозы это скольжение ухудшается?
160. Почему, когда трудно снять перстень, пользуются мыльной водой?
161. Человек поскользнулся, наступив на сухие горошины. Как это объяснить?
162. Укажите, в каких местах велосипеда есть шариковые подшипники.
163. Для чего шурупы перед закручиванием в твердые породы деревьев смазывают мылом?

## § 23 ДАВЛЕНИЕ И СИЛА ДАВЛЕНИЯ. ЕДИНИЦЫ ДАВЛЕНИЯ

Вы уже знаете, что действие одного тела на другое характеризуют приложенной к нему силой. *От чего зависит результат действия этой силы на тело?*

• **Наблюдение 1.** Из собственного опыта вы знаете, что очень тяжело идти по глубокому рыхлому снегу, поскольку ноги глубоко проваливаются в нём, а на лыжах передвигаться намного легче, так как проседание снеговой поверхности в этом случае значительно меньше. В обоих случаях вы действуете на снег с одинаковой силой, но площадь поверхности, на которую она распределяется в случае лыж значительно больше, чем в случае обуви, поэтому и деформация снега оказывается разной. Стоя на лыжах, вы давите на каждую единицу площади поверхности снега с силой, меньшей во столько раз, во сколько раз площадь поверхности лыж больше площади подошвы обуви.

• **Наблюдение 2.** Легковой автомобиль, в отличие от гусеничного трактора или болотохода, не может проехать по болотистой местности, хотя его вес намного меньше веса трактора. Рассмотрев колёса легкового автомобиля и гусеницы трактора, вы убеждаетесь в том, что площадь поверхности гусениц намного больше, чем колёс.

**Результат действия силы на поверхность зависит не только от её значения, но и от площади той поверхности, перпендикулярно к которой она действует.**

Убедимся в этом с помощью опытов.

♦ **Опыт 1.** Заполним стеклянный сосуд песком. На песок поставим столик ножками вверх и на него — гирию массой 2 кг. Результат: столик почти не погрузился в песок (рис. 93, а). Поставим столик ножками на песок и на него — снова гирию массой 2 кг. Результат: ножки стола увязли в песке (рис. 93, б). Возьмём столик с острыми ножками. Поставим его ножками на песок, положив сверху ту же гирию массой 2 кг. Результат: заострённые ножки полностью погрузились в песок (рис. 93, в).

Опыт свидетельствует, что чем меньше площадь опоры столика, тем глубже он погружается в песок под действием одинаковой силы.

♦ **Опыт 2.** Возьмём два столика. Площадь поверхности ножек одного столика вдвое больше, чем второго. Положим на столики груз, причем на столик с большей площадью поверхности ножек положим вдвое больший груз. Результат действия силы будет одинаковый.

В рассмотренных примерах имела значение сила, действующая перпендикулярно к поверхности тела. Такую силу называют **силой давления**.

**Величину, которая определяется отношением значения силы давления к площади поверхности, на которую она действует, называют давлением.**

Давление обозначают малой латинской буквой  $p$ . Итак, чтобы определить давление  $p$ , нужно силу  $F$ , действующую перпендикулярно к поверхности, разделить на площадь этой поверхности  $S$ , т. е.

$$\text{Давление} = \frac{\text{Сила давления}}{\text{Площадь}}, \text{ или } p = \frac{F}{S}.$$

Единицей давления является **один паскаль (1 Па)**, она названа в честь французского учёного Блеза Паскаля. Давление 1 Па создаёт сила давления 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 м<sup>2</sup>, то есть  $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

На практике ещё используют кратные единицы давления: гектопаскаль (гПа), килопаскаль (кПа):



Рис. 93

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

Зная давление, можно определить силу давления, действующую на поверхность тела. Давление показывает, какая сила давления действует на единицу площади, поэтому эта сила давления равна произведению давления и площади поверхности:

$$F = pS.$$

Всем хорошо известно, что во время шитья иглой швеи пользуются напёрстком. Иглу делают очень острой, чтобы умеренной силой пальцев создавать большое давление на ткань и прокалывать её. Но во время нажима пальца на иглу она с такой же силой давит на палец. Конеч иглы со стороны ушка делают притуплённым, но во время работы давление на кожу пальца может быть очень большим, достаточным, чтобы ее поранить. Прочный металлический наперсток надежно защищает палец.

*Почему подушка мягкая? Почему удобно лежать на перине или на надувном матрасе, а лежать на досках или твёрдой поверхности неудобно?* Оказывается, ощущение мягкости или твёрдости зависит не от свойства материала, а от значения давления на поверхность тела. Сделаем небольшие расчеты.

Будем считать, что масса взрослого человека составляет 60 кг, что равно весу приблизительно 600 Н, а поверхность тела — приблизительно  $2 \text{ м}^2$ . Если человек лежит в кровати на перине, которая прогибается и будто охватывает тело, с ней соприкасается приблизительно четверть всей поверхности его тела, т. е.  $0,5 \text{ м}^2$ . Расчёты по таким данным дают давление 1200 Па. А если человек ляжет на твердую поверхность, то площадь соприкосновения будет составлять около  $0,01 \text{ м}^2$ . Это соответствует давлению 60 000 Па, т. е. давление тела на твёрдую поверхность увеличится в 50 раз, отсюда и неудобства.

В разных областях современной техники приходится решать задачи получения высоких давлений, снижения давления или сохранения его в заданных границах. Проблема давления играет важную роль в транспорте. Дороги и железнодорожные пути должны надежно выдерживать давление разных транспортных средств. Этого достигают, уменьшая вес транспортных средств и увеличивая их площадь опоры. Колеса легкового автомобиля производят на дорогу давление около 300 кПа. Чтобы уменьшить давление на дорогу грузовых автомобилей, их делают многоосными, с колёсами большого диаметра, используют гусеницы. Так, давление, производимое трактором Т-130, вес которого — сотни тысяч ньютонов, равен 27 кПа. Это в 1,5 раза больше давления, которое оказывает на дорогу человек весом 600 Н.

С помощью чрезвычайно тонкого инструмента — жала — оса создаёт давление, соизмеримое с давлением во время взрыва (33 000 000 000 Па).

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- В Арктике и Антарктике на научных станциях пользуются такими транспортными средствами, как снегоходы «Пингвин» и «Харьковчанка». Снегоход «Харьковчанка» имеет дизельный двигатель мощностью 736 кВт и запас горючего на 1500 км. При массе 35 т он имеет гусеницы шириной 1 м, что даёт ему возможность преодолевать снежную целину,

ледовые торосы, крутые склоны. Снегоход имеет утеплённую кабину площадью  $25 \text{ м}^2$  с мощной отопительной системой, специальной герметичной обшивкой, позволяющей работать даже при морозах ниже  $-70^\circ\text{C}$ . В кабине есть спальные места, радиорубка, рабочая комната, кухня, сушилка, гардероб, санузел. Размеры снегохода: длина –  $8,5 \text{ м}$ , ширина –  $3,5 \text{ м}$ , высота –  $4,2 \text{ м}$ .



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Почему по снегу легче двигаться на лыжах, чем без них?
2. Почему гусеничный трактор не проваливается во влажном грунте, а легковой автомобиль вязнет?
3. Что называют давлением? Как определяют давление?
4. Объясните, как можно определить силу давления.
5. Как можно увеличить давление? Уменьшить давление?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

С какой целью под головку болта и гайку подкладывают широкие металлические кольца – шайбы, особенно когда скрепляют деревянные детали (рис. 94)?

Ответ: во избежание повреждений деталей уменьшают на них давление за счёт увеличения площади контактной поверхности.

2. Взрослый человек, у которого площадь подошв обуви равна  $450 \text{ см}^2$ , давит на пол с силой  $700 \text{ Н}$ . Определите давление человека на пол.

Дано:

$$F = 700 \text{ Н}$$

$$S = 450 \text{ см}^2 = \\ = 0,0450 \text{ м}^2$$

$p = ?$

Решение

Определим давление человека на пол по формуле:

$$p = \frac{F}{S}; \quad p = \frac{700 \text{ Н}}{0,0450 \text{ м}^2} = 15\,556 \text{ Па}.$$

Ответ: давление человека на пол равно  $15\,556 \text{ Па}$ .



Рис. 94

#### Уровень А

164. Почему тупым ножом тяжело чинить карандаш? Почему тяжело работать затупленными инструментами во время обработки дерева?
165. Под нажимом пальца кнопка сравнительно легко входит в деревянную стену. Почему этого нельзя сделать с гвоздём? Каким образом поступают в этом случае?
166. С какой целью под железнодорожные рельсы подкладывают шпалы и металлические подкладки?
167. Для чего загибают верхний край лопаты, на который нажимают ногой?
168. Одно ведро с водой имеет на дужке деревянную ручку, а второе – нет. Какое из вёдер будет оказывать во время подъёма большее давление на руку?

169. Во время шитья сила давления равна 2 Н, а давление иглы на ткань — 200 000 000 Па. Чему равна площадь кончика иглы?
170. Какое из приведённых ниже значений давления является наибольшим, а какое — наименьшим:  $6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ ,  $60 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ , 600 Па?
171. Давление волка на рыхлый снег равно 12 000 Па, а давление зайца — 1 200 Па. Кому из них легче двигаться по снегу?
172. Давление штормового ветра на препятствие достигает 100 Па. Определите силу, с которой ветер давит на стену дома площадью 24 м<sup>2</sup>.
173. Как создать давление 50 000 Па, действуя силой лишь 1000 Н?

### Уровень Б

174. Человек провалился под лёд. Как нужно действовать, используя знания о давлении, чтобы спасти его?
175. Чему равно давление на рельсы четырёхосного вагона массой 60 т, если площадь касания одного колеса с рельсом — 10 см<sup>2</sup>?
176. Как человек, стоящий на полу, может очень быстро удвоить давление на пол, не нагружая себя никакими дополнительными грузами?
177. Площадь ступни человека — 180 см<sup>2</sup>. Какое давление создаёт человек массой 70 кг, если он стоит на обеих ногах? На одной ноге?
178. Давление на кончике жала пчелы в момент укуса равно приблизительно 3 200 000 000 Па. Во сколько раз это давление больше давления человека на пол? (Смотрите условие предыдущей задачи).
179. Эйфелева башня в Париже массой 9 000 т создаёт давление на грунт 200 000 Па. Какова площадь опор башни?
180. Какое давление будет создавать кирпич размерами 26 × 13 × 6,5 см и массой 3,5 кг, когда будет опираться на разные грани?
181. Каток, уплотняющий покрытие во время строительства дорог, создаёт давление 400 000 Па. Площадь опоры катка — 0,12 м<sup>2</sup>. Какова масса этого катка?
182. Почему фундамент дома шире, чем стены?
183. Как влияет тяжёлая техника на плотность грунта? Как это отражается на развитии растений? К каким последствиям это приводит?
184. У комара (рис. 95), конечно, сила комариная. Как же комар прокалывает кожу слона, коровы?



Рис. 95

## § 24 ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

♦ **Опыт 1.** Возьмём три цилиндрических сосуда: в один положим деревянный брусок, в другой насыпем какой-либо крупы или песку, а в третий нальём воды (рис. 96).



Рис. 96

Деревянный брусок вследствие действия на него силы тяжести будет давить лишь на дно сосуда. Горох будет давить не только на дно, а и на стенки сосуда во всех точках касания горошин. Каждая горошина внутри сжата со всех сторон соседними горошинами и вследствие действия сил упругости сама будет давить во все стороны на горошины. Эти силы давления будут тем больше, чем глубже лежит горошина, т. е. чем больший слой гороха давит на неё сверху.

Вода, налитая в сосуд, вследствие большой подвижности молекул будет давить на дно и стенки сосуда. Каждая частица внутри воды будет сжата со всех сторон соседними частицами и вследствие упругости будет с такой же силой давить на соседние частицы. Эти силы будут тем больше, чем глубже будет находиться частица.

На рис. 97, а изображён прибор, который называют шаром Паскаля. Он имеет в разных местах поверхности маленькие отверстия. К нему присоединена трубка-цилиндр, в которую вставлен поршень. Если набрать в шар воды и нажать на поршень, то увидим, что струйки воды сквозь отверстия бьют во все стороны с одинаковой силой. Это объясняется тем, что поршень давит на поверхность жидкости в трубке. Частицы воды передают давление поршня другим частицам, которые лежат глубже. Таким способом давление поршня передаётся на все частицы воды в шаре. Вследствие этого часть воды выталкивается из шара в виде струек, бьющих из всех отверстий.

Если шар заполнить дымом, то из всех отверстий шара начнут выходить струи дыма (рис. 97, б). Это подтверждает, что и газы передают давление, оказываемое на них, во все стороны одинаково.

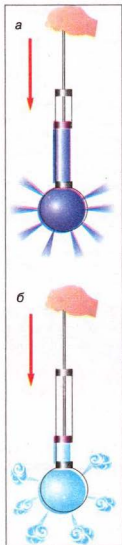


Рис. 97

**Давление, оказываемое на жидкость или газ внешними силами, передаётся жидкостью или газом одинаково во всех направлениях.**



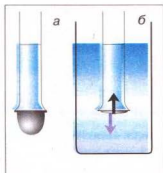


Рис. 98

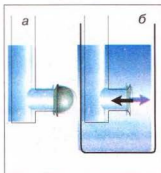


Рис. 99

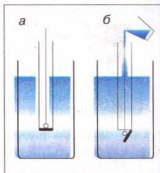


Рис. 100

Это утверждение называют законом Паскаля.

На законе Паскаля основывается действие шприца: давление пальца врача на поршень шприца передаётся без изменений жидкости, содержащейся в нём, и лекарство выходит через иглу шприца.

♦ **Опыт 2.** В стеклянную трубку, нижнее отверстие которой закрыто тонкой резиновой плёнкой, нальём воду (рис. 98, а). Дно трубки прогнётся. Значит, на дно действует сила давления воды. Чем больше наливаем воды, тем более прогибается плёнка. Но каждый раз после того, как резиновое дно прогнулось, вода в трубке находится в равновесии, так как кроме силы тяжести на воду действует сила упругости резиновой плёнки.

Опустим трубку с резиновым дном, в которую налита вода, в более широкий сосуд с водой. Видим, что по мере опускания трубки вниз резиновая плёнка постепенно распрямляется (рис. 98, б). Полное распрямление плёнки показывает, что давление на неё сверху и снизу одинаковое. Значит, в жидкости существует давление, направленное снизу вверх, и на этой глубине оно равно давлению, направленному сверху вниз.

Если выполнить опыт с трубкой, в которой резиновая плёнка закрывает боковое отверстие (рис. 99, а, б), то мы убедимся, что боковое давление жидкости на резиновую плёнку также будет одинаковым с обеих сторон.

♦ **Опыт 3.** Сосуд, дно которого может отпадать, опускаем в банку с водой (рис. 100, а). Дно при этом плотно прижимается к краям сосуда давлением воды снизу вверх. Потом в сосуд осторожно нальём воды. Когда уровень воды в ней совпадёт с уровнем воды в банке, дно оторвётся от сосуда (рис. 100, б). В момент отрывания на дно давит сверху столб жидкости в сосуде, а снизу — столб воды, находящейся в банке. Эти давления одинаковы по значениям, однако дно отрывается от сосуда под действием силы тяжести.

**Согласно закону Паскаля давление внутри жидкости на одном уровне одинаково во всех направлениях. Давление увеличивается с глубиной.**

**Давление жидкостей, обусловленное силой тяжести, называют гидростатическим.**

*А как рассчитать давление жидкости на дно и стенки сосуда?*

Чтобы ответить на этот вопрос припомним, что для того, чтобы

определить плотность вещества  $\rho$ , нужно массу тела  $m$  разделить на его объём  $V$ , т. е.:

$$\text{Плотность} = \frac{\text{Масса}}{\text{Объём}}, \text{ или } \rho = \frac{m}{V}.$$

Единицей плотности в СИ является **один килограмм на кубический метр** ( $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ).

Из формулы для плотности можно определить массу тела. Для этого нужно плотность вещества  $\rho$  умножить на объём тела  $V$ , т. е.:

$$m = \rho V.$$

Теперь возвратимся к рис. 98 в опыте 2. Рассчитаем давление, которое создаёт столбик жидкости высотой  $h$  на дно цилиндрического сосуда. Мы уже знаем, что давление  $p$  равно отношению силы давления  $F$  к площади поверхности  $S$ , на которую она действует:

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

В нашей задаче сила давления равно весу жидкости  $P$ :

$$P = gm,$$

где  $m$  — масса жидкости, которую можем определить через плотность жидкости  $\rho$  и объём жидкости  $V$ :  $m = \rho V$ .

Объём цилиндрического столба жидкости  $V$  равен произведению площади дна сосуда  $S$  и высоты уровня жидкости над дном  $h$ :  $V = Sh$ .

С учётом этих соотношений формула для давления приобретёт окончательный вид:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{gm}{S} = \frac{g\rho V}{S} = \frac{g\rho Sh}{S} = g\rho h, \text{ т. е. } p = g\rho h.$$

Видим, что гидростатическое давление на любой глубине внутри жидкости зависит только от ее плотности  $\rho$  и высоты уровня  $h$ ; оно равно произведению этих величин и постоянной  $g$ .

Гидростатическое давление жидкости не зависит ни от формы сосуда, ни от массы жидкости в сосуде, ни от площади его дна. Согласно закону Паскаля это давление на одном уровне жидкости одинаково действует и на дно, и на стенки сосуда.

### ▶ ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

• В 1648 г. Блез Паскаль провёл интересный опыт. Он вставил в закрытую деревянную бочку, наполненную водой, тонкую трубку и, поднявшись на балкон второго этажа, влил в эту трубку кварту ( $\approx 0,9 \text{ дм}^3$ ) воды. Из-за малой толщины трубки вода в ней поднялась на значительную высоту, и давление в бочке увеличилось настолько, что крепления бочки не выдержали, и она треснула.



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Чем объяснить, что жидкости и газы передают давление во всех направлениях одинаково?
2. В чём заключается закон Паскаля?
3. Объясните, как на опытах можно продемонстрировать передачу давления в жидкостях и газах?
4. Какое давление называют гидростатическим?
5. От чего зависит давление на дно сосуда?

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

## Решаем вместе

1. Чем объяснить, что ведра в форме срезанного конуса очень распространены (рис. 101), хотя они менее устойчивы, и из них больше расплёскивается вода по сравнению с ведрами цилиндрической формы и такой же высоты? Кроме того, конусообразные ведра неудобно нести, так как приходится широко расставлять руки.

Ответ: оказывается, в большинстве случаев ведра выходят из строя из-за того, что у них выпадает дно. Следовательно, прочность дна определяет долговечность ведра. В ведре конической формы площадь дна меньше, чем в ведре цилиндрической формы такой же вместимости, а потому сила давления на дно меньше. Это единственное преимущество конических ведер оправдывает все другие их недостатки.

2. Наибольшая глубина, на которой учёные с корабля «Витязь» выловили рыбу, составляет 7200 м. Какое давление создаёт вода на этой глубине?



Рис. 101

Дано:

$$h = 7200 \text{ м}$$

$$\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

 $p = ?$ 

Решение

Давление создаваемое морской водой на глубине, определим по формуле:  $p = \rho gh$ .

Подставив значения величин, получим:

$$p = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 7200 \text{ м} = 72\,750\,960 \text{ Па} = 72\,751 \text{ кПа} = 72,75 \text{ МПа}.$$

Ответ:  $p = 72,75 \text{ МПа}$ .

## Уровень А

185. Тонкостенную, доверху наполненную водой бутылку стараются плотно закрыть пробкой. Что может произойти при этом и почему?
186. Почему взрыв под водой уничтожает живых существ, живущих там?

187. Почему водолазы на больших глубинах пользуются скафандрами, изготовленными из лучших сортов стали?
188. На каком этаже дома вода из кранов вытекает под большим давлением: нижнем или верхнем?
189. Зачем трубы для подачи воды на большую высоту делают из прочного материала и с толстыми стенками?
190. Вычислите давление жидкости плотностью  $1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  на дно цилиндрического сосуда, если высота жидкости в нём равна 10 см.
191. Какое давление создаёт керосин на дно бочки, высота которой 1,2 м?
192. Для намывания песка на строительные площадки используют земснаряд, насос которого создаёт давление 785 кПа. На какую высоту он может подать пульпу (смесь воды и песка), если её плотность равна  $1080 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ?
193. Почему стенки внутренних органов глубоководных рыб, быстро поднятых на поверхность, оказываются разорванными?

### Уровень Б

194. В результате выстрела в круто сваренное яйцо в нём образуется отверстие. Почему же при выстреле в сырое яйцо оно разлетается во все стороны?
195. Почему при сжатии тубика с зубной пастой она выходит через отверстие? Что произойдёт, если, закрыв отверстие, сжимать тубик?
196. В одну из трёх одинаковых мензурок до одинаковой высоты налита вода, в другую — керосин, в третью — ртуть. В какой мензурке давление на дно будет наибольшим, а в какой — наименьшим?
197. В цилиндрический сосуд, частично заполненный водой, опустили деревянный брусок. Изменится ли давление воды на дно сосуда?
198. Будет ли одинаковым время, необходимое для наполнения кипятком стакана из крана самовара в случаях, если самовар полностью заполнен водой или если из него уже вытекают остатки воды?
199. Выполните такой опыт: наполните стакан до краёв водой, выполните соответствующие измерения и определите давление воды на дно стакана. Какое давление на дно стакана создавала бы налитая до такой же высоты ртуть?
200. Молоко вылили из бутылки в кастрюлю. Какие из указанных ниже физических величин изменили свое значение, а какие — не изменили: масса молока, сила тяжести, вес молока, объём молока, сила давления, давление?
201. Для наблюдения растительного и животного мира морей или океанов используют толстостенные металлические сферы с иллюминаторами — батисферы. Какое давление создаёт вода на поверхность батисферы на глубине 1 км? С какой силой давит на этой глубине вода на батисферу, если площадь её поверхности равна  $1,1 \text{ м}^2$ , а плотность морской воды —  $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ?
202. В сосуде находятся один над другим три слоя несмешивающихся жидкостей: вода, масло, ртуть. Высота каждого слоя равна 5 см. Изобразите это на рисунке и укажите на нём порядок размещения слоёв. Определите давление на дно сосуда.

## § 25

## ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Закон Паскаля лежит в основе устройства и действия гидравлических машин. Гидравлические машины (от греческого слова *гидравликос* — водный) — это машины, для работы которых используется жидкость. Подобно другим простым машинам и механизмам, которые вы будете изучать в следующей главе, назначение гидравлической машины — это преобразование значения силы и направления её действия. Главной частью гидравлической машины являются два цилиндрических сосуда разного диаметра, соединённые между собой трубкой (рис. 102). Внутри сосудов свободно перемещаются плотно прилегающие к стенкам поршни. Сосуды под поршнями обычно заполняют машинным маслом.

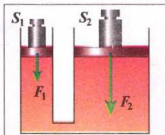


Рис. 102

На обоих поршнях стоят гири; видим, что на большем правом поршне гиря имеет значительно больший вес, чем на левом малом. Поэтому сила давления  $F_2$  на жидкость, которую создает правый поршень, значительно больше силы давления  $F_1$ , создаваемой левым поршнем. Выясним, при каких условиях поршни будут оставаться в равновесии, т. е. будут неподвижными. Давление под малым поршнем  $p_1$  будет определяться отношением силы давления  $F_1$  к площади поршня  $S_1$ :

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}.$$

Давление  $p_2$  под большим поршнем будет равно соответственно:

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2}.$$

В равновесии жидкость в машине должна находиться в покое, т. е. не перетекать из одного цилиндра в другой. Это возможно только тогда, когда давление жидкости слева будет равно давлению жидкости справа, т. е.:

$$p_1 = p_2, \text{ або } \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

Пользуясь свойством пропорции, это соотношение можно представить в виде:

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

Отсюда следует, что в состоянии равновесия сила давления  $F_2$  под большим поршнем во столько раз больше силы давления  $F_1$  под малым поршнем, во сколько раз площадь большого поршня  $S_2$  больше площади малого  $S_1$ . Это означает, что, действуя малой силой на малый поршень, можно уравновесить большую силу на большом поршне, например удержать или поднять тяжёлый груз.

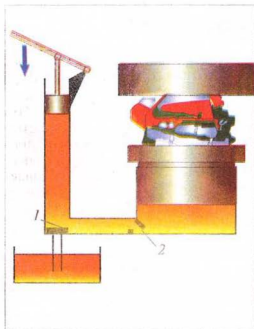


Рис. 103

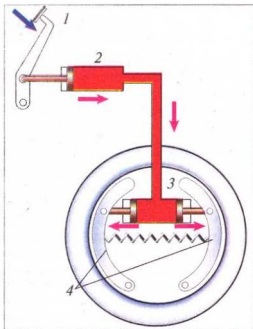


Рис. 104

Видим, что гидравлическая машина позволяет увеличить силу и изменить направление её действия.

**Гидравлическая машина даёт выигрыш в силе во столько раз, во сколько площадь её большого поршня превышает площадь малого.**

Гидравлическую машину, предназначенную для прессовки (сжатия) пористых тел (внутри которых есть пустоты), называют **гидравлическим прессом**. Тело для прессования кладут на платформу, размещённую на большом поршне (рис.103). Когда поршень поднимается, тело упирается в неподвижную верхнюю платформу и сжимается.

Из малого сосуда в большой масло перекачивается повторными движениями малого поршня. Когда он поднимается вверх, то под поршень всасывается масло из сосуда. При этом клапан 1 открывается, а клапан 2 закрывается под действием давления масла. Когда опускается малый поршень, наоборот, клапан 1 закрывается, а открывается клапан 2, и жидкость переходит в большой сосуд.

Например, если площадь малого поршня  $S_1 = 5 \text{ см}^2$ , а площадь большого поршня  $S_2 = 500 \text{ см}^2$ , то выигрыш в силе будет составлять 100 раз. Установив этот удивительный факт, Паскаль написал, что с помощью изобретенной им машины «один человек, нажимающий на малый поршень, уравнивает силу ста людей, которые нажимают на поршень, в сто раз больший, и тем самым преодолевает силу девяносто девяти людей». Впервые гидравлические прессы начали применяться на практике в конце XVIII — в начале XIX ст. Гидравлические прессы используют в производстве стальных валов и кузовов



машин, железнодорожных колес, различных металлических и пластмассовых изделий. Для выдавливания сока из винограда, масла — из семян подсолнечника, изготовления халвы также используют presses. Современные гидравлические presses могут создавать давление до 41 700 МПа.

В автомобилях используют гидравлические тормоза. Схема устройства такого гидравлического тормоза показана на рис. 104. Если водитель давит на педаль 1, то поршень в цилиндре 2 создаёт давление на жидкость, которая заполняет цилиндр 2, трубку и тормозные цилиндры 3. Это давление согласно закону Паскаля передается без изменения жидкостью на поршни тормозных цилиндров 3. Поршни под действием силы давления расходятся и прижимают тормозные колодки 4 к тормозным барабанам — колеса автомобиля тормозятся, автомобиль уменьшает скорость и останавливается. Если водитель прекращает давить на педаль, то пружина сжимается и возвращает тормозные колодки в исходное положение.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое гидравлическая машина?
2. Для чего используют гидравлический пресс?
3. Какой выигрыш в силе дает гидравлический пресс?
4. Объясните, как работают гидравлические тормоза.

## § 26 СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

♦ **Наблюдение.** На столе стоит наполненный прозрачный чайник. Что нужно сделать, чтобы налить чай в чашку?

Видно, что чайник и носик — сосуды, соединённые между собой отверстием в нижней части, поэтому жидкость заполняет их и находится на одном уровне, а верхнее отверстие носика расположено выше уровня жидкости в полном чайнике. Если чайник наклонить в сторону носика, то его отверстие опустится ниже уровня жидкости, и она будет вытекать из чайника в чашку.

♦ **Опыт.** Возьмём две стеклянные трубки, соединим их резиновой трубкой, которую перекроем зажимом, и нальём в одну из трубок воды (рис. 105, а). Когда зажим снимем, то увидим, что жидкость в трубках установилась на одном уровне (рис. 105, б). Поднимем одну из трубок — уровень жидкости в трубках не изменится (рис. 105, в).

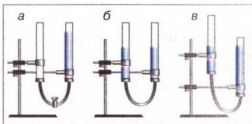


Рис. 105



Рис. 106

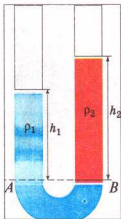


Рис. 107

**Соединённые между собой сосуды, в которых жидкость может свободно перетекать из одного сосуда в другой, называют сообщающимися сосудами.**

Заменяем одну из трубок сообщающихся сосудов трубками другого диаметра и другой формы (рис. 106). В результате опыта убедимся, что свободные поверхности неподвижной однородной жидкости в сообщающихся сосудах любой формы находятся на одинаковом уровне. Отсюда вытекает **закон сообщающихся сосудов.**

**В сообщающихся сосудах свободные поверхности однородной жидкости устанавливаются на одном уровне.**

Для объяснения этого закона рассмотрим малые объёмы жидкости в области поперечного сечения внизу соединительной трубки. В состоянии равновесия эти объёмы находятся в покое, что означает равенство сил давления, действующих на них справа и слева от сечения. Поскольку площадь сечения одна и та же для левого и правого столбов жидкости, то и создаваемые ими гидростатические давления должны быть одинаковыми, а вместе с ними, по закону Паскаля, — и высоты обоих столбов, т. е.  $h_1 = h_2$ .

Если в один из сообщающихся сосудов налить, например, воду плотностью  $\rho_1$ , а в другой — керосин плотностью  $\rho_2$ , то свободные поверхности этих жидкостей установятся на разных уровнях, причём уровень керосина будет выше, чем уровень воды (рис. 107). Поскольку жидкости в равновесии находятся в покое, то согласно закону Паскаля можно утверждать, что давления, создаваемые левым и правым столбами жидкости, например, на уровне раздела жидкостей АВ, одинаковы, т. е.

$$p_1 = p_2.$$

Отсюда с помощью формулы гидростатического давления получим соотношение:

$$g\rho_1 h_1 = g\rho_2 h_2,$$

или после сокращения на  $g$ :

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2.$$

Из этого равенства следует пропорция:

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

Видим, что **высоты разнородных жидкостей, отсчитываемые от уровня поверхности их раздела, в сообщающихся сосудах обратно пропорциональны их плотностям.** Для установления равновесия высота столба менее плотной жидкости должна быть большей.

Примеры сообщающихся сосудов: лейка для полива растений (рис. 108); водомерное стекло парового котла —



Рис. 108

для определения уровня воды в котле; водяной уровень — для проведения горизонтальной линии на неровной местности. На основе закона сообщающихся сосудов действуют артезианские колодцы или скважины (рис. 109). Скважину делают в наиболее низком месте водяного пласта, и вода поднимаясь на поверхность, бьёт фонтаном. Водонапорная сеть представляет собой разветвлённую сеть сообщающихся сосудов. Чтобы вода поступала в наивысшее место водонапорной сети, нужно водонапорную башню размещать не ниже этого места.



Рис. 109

Рассмотрим, как действует водопровод (рис. 110).

На водонапорной башне 1 установлен большой бак 2 для воды. С помощью мощных насосов 3 из водоёма (реки, озера) или скважины воду закачивают для очистки в отстойник 5, потом подают для фильтрования в резервуар 4, а дальше — в магистраль и в водонапорную башню. К магистрали 6 присоединены водопроводные трубы отдельных зданий. Чтобы вода в них зимой не замерзала, их изолируют и укладывают под землю. В каждом доме в квартирах на трубах устанавливают водяные краны. Когда открывают кран, вода начинает выливаться, так как уровень жидкости в башне выше, чем в квартире.

Примером сообщающихся сосудов являются шлюзы.

**Шлюзы** (от латинского *шлеузе* – удерживаю, отделяю) – это гидротехническое сооружение для перевода судов на реке или канале с одного уровня на другой.

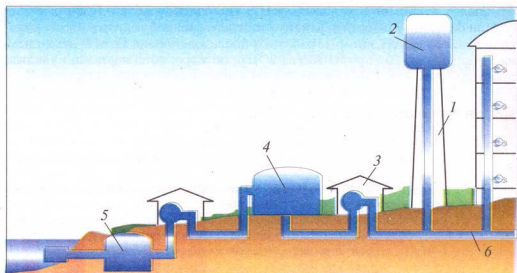


Рис. 110

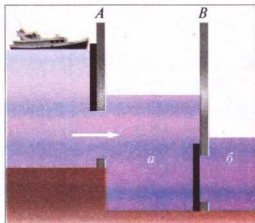


Рис. 111

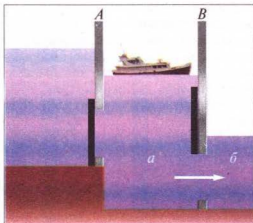


Рис. 112

Шлюзы являются одним из ярких примеров применения сообщающихся сосудов в технике. Любой шлюз состоит из шлюзовой камеры, в которой есть верхние и нижние ворота. Камера соединена с рекой или каналом широкими трубами, которые закрывают выдвижными заслонками. На рисунках 111–112 показана схема действия шлюза, когда корабль плывёт по течению реки.

Когда корабль подходит к шлюзу, ворота *A* шлюза закрыты (рис. 111). Открывают заслонку трубы, соединяющей верхнюю часть реки с камерой. Вода из реки постепенно перетекает в камеру *a*. Когда уровень воды в камере *a* сравняется с её уровнем в верхней части реки, верхние ворота *A* открывают, и корабль входит в камеру *a*. После этого верхние ворота закрывают (рис. 112) и открывают заслонку трубы, соединяющей камеру *a* с нижней частью реки *б*. Камера шлюза *a* постепенно освобождается от воды до уровня её в нижней части реки *б*. Затем открывают нижние ворота *B*, и корабль выходит в реку.

При большой разности верхнего и нижнего уровней реки строят несколько шлюзовых камер, которые работают последовательно. Если будете плыть на теплоходе по Днепру из Киева в Чёрное море, то обязательно увидите такие шлюзы.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие сосуды называют сообщающимися?
2. В чём заключается закон сообщающихся сосудов?
3. Объясните, как устанавливаются поверхности однородной жидкости в сообщающихся сосудах.
4. Как устанавливаются поверхности разнородных жидкостей в сообщающихся сосудах?
5. Приведите примеры сообщающихся сосудов.
6. Почему водонапорную башню всегда строят на самых высоких местах и поднимают её бак на уровень выше всех зданий, снабжаемых водой?

## § 27 АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. ИЗМЕРЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Нашу планету Земля окружает мощная газовая оболочка, которую называют **атмосферой** (от греческих слов *атмос* — пар и *сфера* — шар).

Исследования околоземного пространства с помощью искусственных спутников Земли показали, что её атмосфера простирается на тысячу и более километров в высоту. Резкой границы она не имеет. Её верхние пласты очень разрежены и постепенно переходят в безвоздушное межпланетное пространство (вакуум). С уменьшением высоты плотность воздуха возрастает. Почти 80 % всей массы воздушной оболочки Земли сосредоточены в пределах 15 км над Землей. Опытами установлено, что при температуре 0 °C масса 1 м<sup>3</sup> воздуха на уровне моря равна 1,29 кг. На воздушные слои действует сила тяжести, поэтому верхние слои давят на средние, а средние — на нижние. Наибольшее давление, обусловленное весом всей атмосферы, испытывает поверхность Земли, а также все находящиеся на ней тела.

**Давление, оказываемое атмосферой на все находящиеся в ней тела, а также на земную поверхность, называют атмосферным давлением.**

Вясним, насколько велико это давление.

Формула гидростатического давления  $p = \rho gh$  для расчёта атмосферного давления не подходит, так как атмосферный воздух не имеет постоянной плотности (она на разных высотах разная) и не имеет определённой высоты (атмосфера не имеет резкой границы). Как измерить давление атмосферы, впервые догадался итальянский ученый Э. Торричелли. Предложенный им опыт был осуществлён в 1643 г. учеником Г. Галилея В. Вавиани. В этом опыте была использована запаянная с одного конца стеклянная трубка длиной около 1 м. Её заполняли ртутью, а потом, закрыв открытый конец, переворачивали отверстием вниз и погружали в широкий сосуд с ртутью. После того как трубку открывали, часть ртути из неё выливалась в сосуд, а в верхней части трубки образовывалось безвоздушное пространство — «торричеллева пустота» (рис. 113). При этом высота столба ртути в трубке составляла приблизительно 760 мм.

Результаты этого опыта Торричелли объяснил так: «До сих пор существовала мысль, будто сила, которая не даёт возможности ртути, вопреки её естественному свойству, падать вниз, содержится внутри верхней части трубки, т. е. — или в пустоте, или в разрежённом веществе. Однако я утверждаю, что эта сила — внешняя и что сила берётся снаружи. На поверхность жидкости, находящейся в сосуде, действуют своей тяжестью 50 миль воздуха. Что же странного, если ртуть... поднимается настолько, чтобы уравновесить тяжесть внешнего воздуха».

Итак, атмосферное давление согласно закону Паскаля равно давлению столба ртути в трубке:

$$p_{\text{атм}} = p_{\text{ртути}}.$$

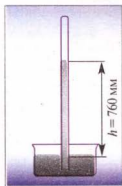


Рис. 113

Если бы эти давления не были равны, то ртуть не находилась бы в равновесии: при увеличении давления ртути она выливалась бы из трубки в сосуд, а при уменьшении — поднималась бы по трубке вверх.

Итак, **давление атмосферы можно измерить высотой соответствующего ртутного столба.** Его высоту обычно измеряют в миллиметрах.

Если, например, говорят, что в некотором месте атмосферное давление равно 760 мм рт. ст., то это означает, что воздух в этом месте создаёт такое же давление, что и вертикальный столб ртути высотой 760 мм.

Чтобы определить это давление в паскалях, воспользуемся формулой гидростатического давления:  $p = gh$ . Подставляя в эту формулу значения

$\rho = 13\,595,10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  (плотность ртути при 0 °С),  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$  и  $h = 760 \text{ мм} = 0,76 \text{ м}$  (высота столба ртути), получим такое значение нормального атмосферного давления:  $p = 101\,325 \text{ Па}$ .

**Давление атмосферы, которое равно давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С, называют нормальным атмосферным давлением.**

Единицами атмосферного давления являются 1 мм рт. ст., один паскаль (1 Па) и один гектопаскаль (1 гПа), между ними существуют такие соотношения:

$$\begin{aligned} 1 \text{ мм рт. ст.} &= 133,3 \text{ Па} = 1,33 \text{ гПа}; \\ 760 \text{ мм рт. ст.} &= 101\,325 \text{ Па} = 1013 \text{ гПа}; \end{aligned}$$

Об опытах Торричелли узнал французский учёный Блез Паскаль. Он повторил их с разными жидкостями (маслом, вином и водой). Столб воды, уравнивающий давление атмосферы, оказался намного выше столба ртути.

Однако Паскаль считал, что для окончательного доказательства факта существования атмосферного давления нужен ещё один решающий опыт. Для этого он выполнил опыт Торричелли сначала у подножия горы, а потом — на её вершине. Результаты удивили всех присутствующих. Давление воздуха на вершине горы было почти на 100 мм рт. ст. меньше, чем у подножия. Этим было доказано, что ртуть в трубке в самом деле поддерживается атмосферным давлением.

Если измерить атмосферное давление на разных высотах, то получим такие результаты.

Высота над уровнем моря, км	0	1	2	3	4	5
Давление, мм рт. ст.	760	674	596	526	462	405

Наблюдая ежедневно за высотой ртутного столба в трубке, можно заметить, что она изменяется: то увеличивается, то уменьшается. Существованием атмосферного давления можно объяснить много явлений. На рисунке 114 изображена стеклянная трубка, внутри которой имеется поршень, плотно прилегающий к её стенкам. Конец трубки опущен в воду. Если поднимать поршень, то за ним будет подниматься и вода. Между поршнем и водой



вследствие поднятия поршня образуется безвоздушное пространство, в котором нет давления атмосферы. В это пространство под давлением внешнего воздуха и входит за поршнем вода. Данное явление используют в работе шприца, водяного насоса.

♦ **Опыт 1.** Возьмём цилиндрический сосуд, закрытый пробкой, через которую пропущена трубка с краном. Выкачаем из неё воздух, закроем кран, трубку опустим в воду и откроем кран. Поскольку атмосферное давление больше давления в сосуде, то под его действием вода будет бить фонтаном внутри сосуда (рис. 115).

♦ **Опыт 2.** Налейм в стакан воды и накроем его листом бумаги, немного бóльшим диаметра стакана. Держа стакан за нижнюю часть, прижмём бумагу к краям стакана ладонью и перевернём его вверх дном, убрав затем руку от бумаги (рис. 116). Удивительно, но вода будет удерживаться в стакане и листок останется на месте — почему? Дело в том, что давление атмосферы на бумагу больше, чем давление столба воды в стакане.

• **Наблюдение.** Влияние атмосферного давления весьма заметно проявляется во время ходьбы по вязкой почве (засасывающее действие трясины). При подъёме ноги под ней образуется разрежённое пространство, и вследствие присасывания нога тянет за собой тяжёлую трясину (как поршень — жидкость в насосе).

Благодаря давлению атмосферного воздуха работают присоски для крепления предметов на гладких плоских поверхностях. Если вытеснить воздух под присоской, то она прижмётся силой давления атмосферы, и чтобы её оторвать, нужно приложить довольно большое усилие (рис. 117).

Результаты простых вычислений показывают, что сила давления атмосферы на поверхность обычной тетради равна 3000 Н. Почему же вы так легко можете поднять тетрадь? Дело в том, что силы давления воздуха сверху и снизу тетради уравниваются, и при подъёме вам приходится преодолевать лишь вес самой тетради.

Для измерения атмосферного давления используют **ртутный барометр, барометр-анероид и барограф**.

Если трубку, подобную той, что использовал в своём опыте Торричелли, снабдить шкалой, то получим простейший прибор для измерения атмосферного давления — ртутный барометр (от греческих слов *барос* — вес, тяжесть; *метрео* — измеряю) (рис. 118 на с. 100).

Барометр-анероид (от греческих слов: *барос*, *метрео*, *анероид*) изображён на рисунке 119. Основная

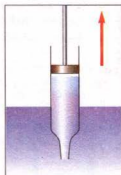


Рис. 114

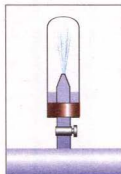


Рис. 115



Рис. 116

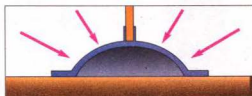


Рис. 117

часть прибора — круглые гофрированные металлические коробочки, соединённые между собой. Внутри коробок создано разрежение (давление в коробках ниже атмосферного). С увеличением атмосферного давления коробки сжимаются и тянут прикреплённую к ним пружину. Перемещение конца пружины через специальные устройства передаётся стрелке, а её указатель движется вдоль шкалы. Против штрихов шкалы нанесены значения атмосферного давления. Например, если стрелка останавливается напротив отметки 750, то это значит, что атмосферное давление равно 750 мм рт. ст. При уменьшении давления стенки коробочек расходятся, растяжение пружины уменьшается, и стрелка движется в сторону уменьшения значений давления.

Барометр-анероид — это один из основных приборов, который используют метеорологи для составления прогнозов погоды на ближайшие дни, так как её изменение зависит от изменения атмосферного давления.

Для автоматической и непрерывной записи изменений атмосферного давления используют барограф (от греческих слов *барос*; *графо* — пишу). Кроме металлических гофрированных коробочек в этом приборе есть механизм для движения бумажной ленты, на которой нанесены сетка значений давления и дни недели (рис. 120). По таким лентам можно выяснить, как изменялось атмосферное давление в течение любой недели.

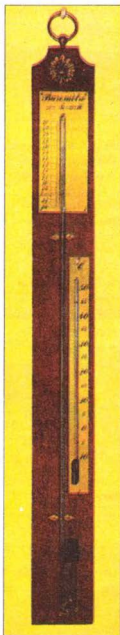


Рис. 118



Рис. 119

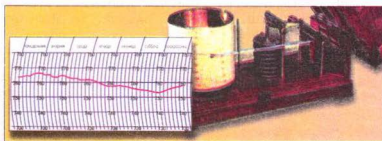


Рис. 120

## ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Вывод о существовании атмосферного давления независимо от Э. Торричелли сделал немецкий физик Отто фон Герике (1602–1686). Откачивая воздух из тонкостенного металлического шара, он увидел, что шар сплюснулся. Анализируя причины сплющивания шара, он понял, что оно произошло под действием давления окружающей среды.
- Открыв атмосферное давление, Герике построил перед фасадом своего дома в г. Магдебурге водяной барометр, в котором на поверхности жидкости плавала фигурка человека, указывающая на деления, нанесённые на стекле.



Рис. 121

одно к другому, что их не смогли разъединить восемь пар лошадей (рис. 121).

- В природе существует более 400 растений-барометров. Цветочный барометр можно найти и на огороде. Это маленькая ветвистая трава-мокрец. По её мелким белым цветкам можно предсказывать погоду в течение всего лета: если утром венчики не раскрываются – днем будет дождь.



## ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Вследствие чего создаётся атмосферное давление?
2. Что доказывает опыт Торричелли?
3. Что означает запись: «Атмосферное давление равно 780 мм рт. ст.»?
4. Какое давление называют нормальным атмосферным давлением? Чему оно равно?
5. Как изменяется атмосферное давление с увеличением высоты над Землёй? Почему?
6. Приведите примеры подтверждающие наличие атмосферного давления.
7. Какие приборы используют для измерения атмосферного давления?

## § 28 МАНОМЕТРЫ

Как вы знаете, барометры служат для измерения атмосферного давления. Если же нужно определить какое-то иное давление, создаваемое жидкостью или газом, то применяют приборы, называемые **манометрами**.

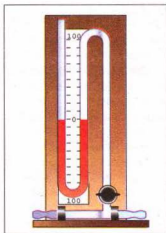


Рис. 122

**Манометры** – это измерительные приборы, предназначенные для измерения давления или разности давлений.

Манометры (от греческих слов *манос* – жидкий; *метрео* – измеряю) бывают жидкостные и деформационные.

Манометры для измерения давления заполняют ртутью. Ими измеряют давление в пределах от 100 до 160 мм рт. ст. Манометры, с помощью которых измеряют разность давлений в пределах от 10 до 100 мм рт. ст., заполняют водой или другой жидкостью (рис. 122). Наиболее распространены деформационные манометры. Общий вид одного из них показан на рисунке 123. Он был изобретён в 1848 г. французским учёным Э. Бурдоном. В таких манометрах измеряемое давление или разность

давлений определяется по деформации упругого чувствительного элемента. Чувствительным элементом может быть трубчатая пружина. Такие манометры называют трубчато-пружинными. Пружина – это металлическая трубка, закрытая с одного конца, её второй конец присоединяют к среде, давление в которой нужно измерить. При увеличении давления внутри трубки она начинает разгибаться. Это движение трубки через специальные устройства передаётся к стрелке, указывающей на шкале манометра значение давления.

На рисунке 124 изображён жидкостный U-образный манометр. Он состоит из стеклянной трубки, имеющей форму латинской буквы U, в которую налита жидкость (вода или спирт). С помощью гибкой трубки одно из колен манометра соединяют с круглой плоской коробочкой, затянутой резиновой плёнкой. Если



Рис. 123

давление в левом и правом колене одинаковы, то жидкость устанавливается на одном уровне. Если надавить на плёнку, то уровень жидкости в колене манометра, соединённом с коробочкой, понизится, а в другом – на столько же повысится. Объясняется это тем, что при нажатии на плёнку давление воздуха в коробочке повышается. Это избыточное давление передаётся жидкости в соответствующем колене, и её уровень снижается. Уровень в этом колене будет снижаться до тех пор, пока избыточная сила давления не уравновесится весом избыточного столба жидкости во втором колене манометра. Поэтому по разности высот столбов жидкости в манометре можно видеть, насколько давление на плёнку отличается от атмосферного.

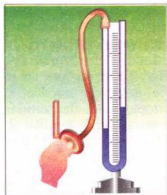


Рис. 124

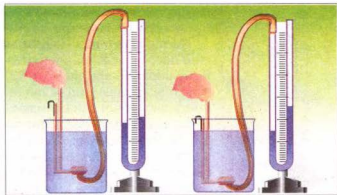


Рис. 125

♦ **Опыт.** В сосуд с жидкостью (рис. 125) будем опускать манометрическую коробочку U-подобного манометра. Мы видим, что чем глубже опускаем коробочку манометра, тем больше разность высот жидкости внутри прибора. Так и должно быть: с увеличением глубины погружения гидростатическое давление жидкости возрастает.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Как называют приборы для измерения давлений, больших или меньших атмосферного?
2. Какие бывают манометры?
3. Чем отличается трубчато-пружинный манометр от жидкостного?
4. Объясните, что показывает опыт, изображенный на рисунке 125.

## § 29

### ЖИДКОСТНЫЕ НАСОСЫ

Поршневой жидкостный насос, схема которого изображена на рисунке 126, состоит из цилиндра и поршня, который свободно движется в цилиндре, плотно прилегая к его стенкам. В нижней части цилиндра и в поршне есть клапаны, которые открываются только вверх. Если поршень движется вверх, то вода под действием атмосферного давления входит в трубу, поднимает нижний клапан и движется за поршнем. При движении поршня вниз вода давит на нижний клапан, и он при этом закрывается. Вместе с тем под давлением воды открывается клапан внутри поршня, и вода переходит в пространство над поршнем. При следующем движении поршня вверх вместе с ним поднимается вода, которая есть над поршнем, и выливается в отводную трубу. Одновременно за поршнем поднимается новая порция воды, которая во время следующего опускания поршня будет уже над ним. Такие

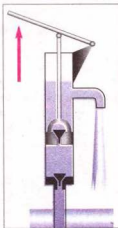


Рис. 126

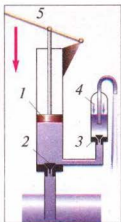


Рис. 127

процессы будут повторяться до тех пор, пока мы не прекратим качать воду.

На практике используют также поршневой жидкостный насос с воздушной камерой. Такой насос схематично изображён на рисунке 127. После втягивания воды через всасывающий клапан 2 в цилиндр насоса, с помощью ручки 5 нажимают на поршень 1. Давлением воды в цилиндре закрывается всасывающий клапан 2, вместе с тем открывается нагнетательный клапан 3, вода поступает в сосуд с воздушной камерой 4 и через трубу выливается наружу. При движении ручки вверх закрывается клапан 3 и открывается клапан 2 — вода поступает в цилиндр. Далее процессы повторяются до тех пор, пока не накачают необходимое количество воды.

*А на какую высоту или с какой глубины можно поднять воду с помощью таких насосов?* Вы уже знаете, что плотность

ртути в 13,6 раза больше, чем воды. Ртуть в трубке поднимается на 760 мм. Тогда вода подымется на высоту, в 13,6 раз большую: она равна 10 336 мм. Значит, поршневыми жидкостными насосами можно качать воду лишь с глубины, не превышающей 10 м.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Сердце человека является удивительным насосом, непрерывно работающим в течение жизни человека. Оно перекачивает за одну минуту 6 л крови, за сутки — 8600 л, за год — около 3 млн литров, а за 70 лет жизни — около 220 млн литров. Если бы сердце не перегоняло кровь по замкнутой системе, а накачивало в какой-то резервуар, то можно было бы заполнить бассейн длиной 100 м, шириной 100 м и глубиной 22 м.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

- Какие типы поршневых жидкостных насосов вы знаете?
- Объясните, каково их устройство и принцип действия.
- На какую максимальную высоту можно поднять воду поршневым жидкостным насосом?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

- Кому легче вытягивать ногу из грязи: корове или лошади? Почему?

Ответ: легче вытягивать ногу из грязи корове, так как у нее, в отличие от лошади, копыто раздвоено.

- На рисунке 128 изображенная морская звезда. За счёт чего она может легко цепляться к морскому дну или к другим предметам?

Ответ: за счёт большого количества присосок в нижней части звезды.



Рис. 128



3. Манометр, присоединённый на водонапорной станции к трубе, по которой подаётся вода к баку в башне, показывает давление 303 000 Па. Какова высота воды в башне?

Дано:

$$p = 303\,000 \text{ Па}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$h = ?$$

Решение

Чтобы определить высоту воды в башне, используем формулу  $p = \rho g h$ ,

из которой получим  $h = \frac{p}{\rho g}$ .

$$h = \frac{303\,000 \text{ Па}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 30,88 \text{ м}$$

Ответ: высота воды в водонапорной башне равна 30,88 м.

### Уровень А

203. Если бутылку, наполненную водой, погрузить шейкой в сосуд с водой, то вода из неё не будет выливаться. Почему?
204. Когда вода выливается из бутылки, мы слышим бульканье. Почему?
205. Почему тяжело пить из наклоненной бутылки, если плотно обхватить её шейку губами?
206. Подсчитано, что на поверхность тела взрослого человека (масса 60 кг, рост 160 см) площадью 1,6 м<sup>2</sup>, действует сила 160 000 Н, обусловленная атмосферным давлением. Как организм выдерживает такие большие нагрузки?
207. Когда самолёт набирает большую высоту, пассажиры начинают ощущать боль в ушах. Почему?
208. Площадь поверхности первого спутника Земли составляла 8820 см<sup>2</sup>. Какой была сила давления на его поверхность на высоте 300 км, если давление воздуха там было равным приблизительно 0,00006 Па?
209. Какое атмосферное давление показывает барометр-анероид (рис. 129)?
210. Какое давление показывает ртутный барометр (рис. 130)? Выразите это давление в паскалях.
211. На рисунке 131 схематически изображено устройство поршневого жидкостного насоса с воздушной камерой. Опишите, как работает этот насос.

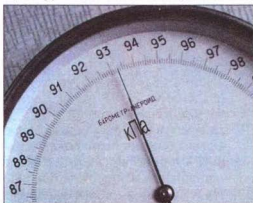


Рис. 129

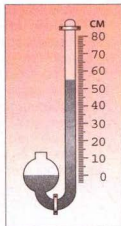


Рис. 130

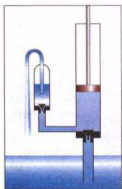


Рис. 131



Рис. 132

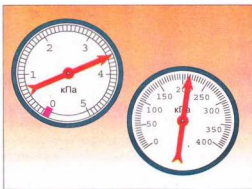


Рис. 133

212. Поднимается или опускается поршень жидкостного насоса, изображённого в разрезе на рисунке 132?
213. Какие приборы изображены на рисунке 133? Какую физическую величину они измеряют? Снимите показания каждого из приборов.
214. Как нужно пользоваться пипетками для переливания небольшого количества жидкости? Объясните действие этих пипеток.

### Уровень Б

215. Ученик, отвечая на уроке, сказал: «Атмосферное давление равно давлению столба ртути длиной 760 мм». Какие ошибки допустил ученик в своем ответе?
216. Для чего в крышках бидонов для смазочных материалов делают не одно, а два отверстия: одно большое, а второе — меньшее — на противоположной стороне крышки? Каково назначение малого отверстия при наполнении и опорожнении бидона?
217. Почему стакан, вымытый тёплой водой и опрокинутый на покрытый полиэтиленовой скатертью стол, плотно прилегает к ней и немного вытягивает ее?
218. В металлической крышке, закрывающей верхнее отверстие топливного бака автомобиля, есть малое отверстие. Если это отверстие случайно засорится, то горючее не потечёт по нижней трубке к двигателю. Почему?
219. Будет ли действовать барометр-анероид, если в стенке его металлической гофрированной коробочки появится трещина?
220. Какая сила атмосферного давления действует на тело человека, площадь поверхности которого равна приблизительно  $1,6 \text{ м}^2$ ?
221. Вычислите, с какой силой давит воздух на ладонь вашей руки. Атмосферное давление измерьте барометром-анероидом.
222. С какой силой давит атмосфера на поверхность страницы тетради, размеры которой  $16 \times 20 \text{ см}$  при атмосферном давлении  $100\,000 \text{ Па}$ ?
223. Определите атмосферное давление на уровне моря и на горе (рис. 134, а); на поверхности Земли и на станции метрополитена (рис. 134, б). Как объяснить разность в показаниях барометров-анероидов?
224. На рисунке 135 изображена запись атмосферного давления барографом

на протяжении недели. Пользуясь этим графиком, выясните: а) каково было наибольшее (наименьшее) давление и в какой день; б) какое давление было в полдень в четверг; в) на сколько миллиметров ртутного столба давление во вторник было больше, чем в пятницу.

225. В середине XVII в. во Флоренции построили всасывающие насосы для подъёма воды на большую высоту, но вода поднималась не выше 10 м. Почему?

226. Какой насос используют в гидравлических прессах: всасывающий или нагнетательный?

227. Почему жидкость, которую качают всасывающим насосом, течёт прерывистой струёй?

228. Рассмотрите устройство и принцип действия пожарного насоса, изображённого на рисунке 136. Сколько здесь насосов? Какие они: всасывающие или нагнетательные? Каково назначение воздуха, закрытого в камере? Можно ли было бы посылать струю воды этим насосом на значительное расстояние без воздушной «подушки»?

229. Какое давление создаёт поршень нагнетательного насоса, подающий воду на высоту 15 м? Атмосферное давление нормальное.

230. Каким из двух насосов (рис. 137) можно поднять воду на высоту 30 м?

231. Почему резиновые трубки, соединяющие воздушные насосы с сосуда́ми, из которых откачивают воздух, имеют толстые стенки?

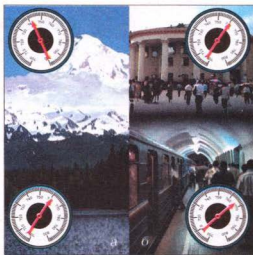


Рис. 134

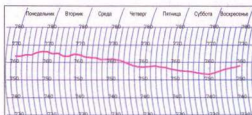


Рис. 135

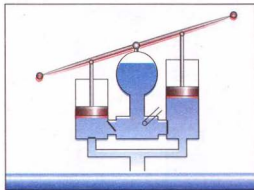


Рис. 136

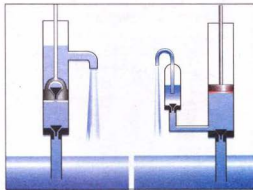


Рис. 137

## § 30 ВЫТАЛКИВАЮЩАЯ СИЛА

• **Наблюдение.** Почему тяжело погрузить мяч в воду, и почему, как только мы его отпустим, он выпрыгивает из воды? Почему в море легче плавать, чем в озере? Почему в воде мы можем поднять камень, а в воздухе — нет?

♦ **Опыт 1.** Подвесим к пружине тело (рис. 138). В связи с тем, что на тело действует сила тяжести  $F_{\text{тяж}}$ , пружина растянется. Тело будет находиться в равновесии, так как сила тяжести и сила упругости  $F_{\text{упр}}$ , которые действуют на тело, равны по значению, но противоположны по направлению. Погрузим это тело в воду. Удлинение пружины уменьшится. Масса тела не изменилась, то есть не изменилась и сила тяжести, действующая на тело. Значит, уменьшилась сила упругости. Отсюда можно сделать вывод, что со стороны воды на тело действует сила, выталкивающая его из воды. Эту силу называют **выталкивающей силой**. Этим же можно объяснить, почему под водой легко можем поднять камень, который с трудом удерживаем на воздухе. Если опустить мяч в воду, то он выпрыгнет из неё.

Газы во многом подобны жидкостям. На тела, помещённые в газ, также действует выталкивающая сила. Именно под действием этой силы воздушные шары, метеорологические зонды, детские шарики, наполненные водородом, поднимаются вверх.

*А от чего зависит выталкивающая сила?*

♦ **Опыт 2.** Два тела разного объёма, но одинаковой массы, погрузим полностью в одну и ту же жидкость (воду). Мы видим, что тело большего объёма выталкивается из жидкости (воды) с большей силой (рис. 139).

**Выталкивающая сила зависит от объёма погружённого в жидкость тела. Чем больше объём тела, тем большая выталкивающая сила действует на него.**

♦ **Опыт 3.** Погрузим полностью два тела одинакового объёма и массы в разные жидкости, например воду и керосин (рис. 140). Нарушение равновесия в этом случае свидетельствует, что в воде на тело действует большая выталкивающая сила, это можно связать с тем, что плотность воды больше, чем плотность керосина.

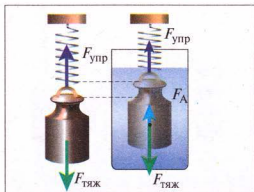


Рис. 138

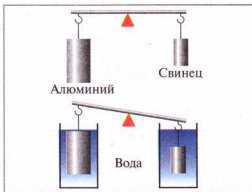


Рис. 139

**Выталкивающая сила зависит от плотности жидкости, в которую погружено тело. Чем больше плотность жидкости, тем большая выталкивающая сила действует на погружённое в неё тело.**

Обобщая результаты наблюдений и опытов можно сделать такой вывод.

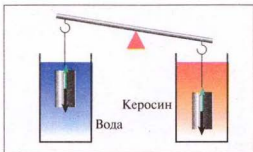


Рис. 140

**На тело, погружённое в жидкость (газ), действует выталкивающая сила, равная по значению весу жидкости (газа), вытесненной этим телом.**

Это утверждение называют **законом Архимеда**, древнегреческого учёного, который его открыл и, по легенде, успешно применил для решения практической задачи: определил, содержится ли в золотой короне царя Гиерона примесь серебра. Силу, которая выталкивает тело из жидкости или газа, называют еще **архимедовой силой**.

На основе закона Архимеда можно сразу написать формулу для определения выталкивающей силы, но чтобы лучше понять, вследствие чего она возникает, выполним простые расчёты. Для этого рассмотрим тело в форме прямоугольного бруска, погружённого в жидкость таким образом, чтобы его верхняя и нижняя грани располагались параллельно поверхности жидкости (рис. 141). Посмотрим, каким будет результат действия сил давления на поверхность этого тела.

Согласно закону Паскаля горизонтальные силы  $F_3$  и  $F_4$ , действующие на симметричные боковые грани бруска, попарно равны по значению и противоположно направлены. Они не выталкивают брусок вверх, а только сжимают его с боков. Рассмотрим силы гидростатического давления на верхнюю и нижнюю грани бруска.

Пусть верхняя грань площадью  $S$  расположена на глубине  $h_1$ , тогда сила давления  $F_1$  на неё будет равна:

$$F_1 = \rho_{\text{ж}} h_1 S,$$

где  $\rho_{\text{ж}}$  — плотность жидкости.

Нижняя грань бруска площадью  $S$  расположена на большей глубине  $h_2$ , поэтому сила давления  $F_2$  на неё будет также больше, чем  $F_1$ :

$$F_2 = \rho_{\text{ж}} h_2 S.$$

Обе силы давления  $F_1$  и  $F_2$  действуют вдоль вертикали, их равнодействующая и будет силой Архимеда  $F_A$ , направленной вверх в сторону большей силы  $F_2$ , а её значение будет равно разности сил  $F_2$  и  $F_1$ :

$$F_A = F_2 - F_1 = \rho_{\text{ж}} h_2 S - \rho_{\text{ж}} h_1 S = \rho_{\text{ж}} S (h_2 - h_1).$$

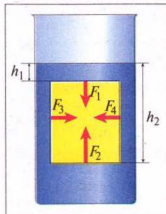


Рис. 141

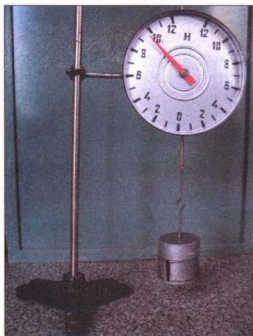


Рис. 142



Рис. 143

Поскольку разность  $h_2 - h_1$  является высотой бруска, то произведение  $S(h_2 - h_1)$  равно объёму тела  $V_T$ , и мы окончательно получаем формулу, являющуюся математическим выражением закона Архимеда:

$$F_A = \rho_{\text{ж}} V_T g$$

Действительно, поскольку жидкость не сжимается, то объём вытесненной телом жидкости равен объёму этого тела, и произведение  $\rho_{\text{ж}} V_T$  равно массе жидкости  $m_{\text{ж}}$  в объёме тела  $V_T$ . В свою очередь, произведение  $m_{\text{ж}} g$  является весом этой жидкости.

Из приведённого расчета наглядно видно, что выталкивающая (архимедова) сила возникает вследствие того, что значения гидростатического давления на разных глубинах неодинаковы и возрастают с глубиной.

Архимедовую силу можно определить экспериментально.

♦ **Опыт 4.** Подвесим тело к динамометру (рис. 142). На тело действует сила тяжести почти 10 Н. Погрузим тело в жидкость (рис. 143). Динамометр показывает 6 Н. Определим разность показаний динамометра. Она равняется 4 Н.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Однажды у императора Цао-Цао, который правил в Китае свыше 2000 лет тому назад, возникла мысль взвесить слона. Как ни суетились сановники, никто из них не мог ничего придумать, ведь нигде не было



таких гигантских весов, чтобы на них можно было взвесить слона. Когда все сановники признали свою беспомощность, пришёл человек по имени Чао Чун и сказал, что он может взвесить слона. Он попросил: «Прикажете поставить слона в большую лодку, после чего обозначьте уровень погружения лодки в воду. Снимите слона, а лодку загрузите камнями так, чтобы она погрузилась до отметки. Вес камней будет равен весу слона». Талантливый самородок, на много лет опередивший великого Архимеда, получил за своё предложение «щедрое» вознаграждение – благосклонный кивок императора Цао-Цао.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите известные вам из жизни явления, указывающие на существование выталкивающей силы.
2. Что является причиной возникновения выталкивающей силы?
3. От чего зависит выталкивающая сила?
4. Как можно измерить силу Архимеда?
5. Будет ли действовать сила Архимеда на тело, плотно прилегающее к дну?

## § 31

### УСЛОВИЯ ПЛАВАНИЯ ТЕЛ

Вы уже знаете, что на погружённое в жидкость тело действуют две силы: сила тяжести  $F_{\text{тяж}} = gm$ , направленная вертикально вниз, и архимедова сила  $F_A = g\rho_r V_r$ , направленная вертикально вверх.

Под действием этих сил тело будет двигаться в сторону большей силы. При этом возможные следующие случаи:

1. Если сила тяжести меньше архимедовой силы ( $F_{\text{тяж}} < F_A$ ), то тело будет всплывать (рис. 144, а). На поверхности оно будет плавать, частично погрузившись на глубину, которой достаточно для возникновения архимедовой силы, уравновешивающей вес тела.

2. Если сила тяжести равна архимедовой силе ( $F_{\text{тяж}} = F_A$ ), то тело будет находиться в равновесии в любом месте жидкости (рис. 144, б).

3. Если сила тяжести больше архимедовой силы ( $F_{\text{тяж}} > F_A$ ), то тело утонет (рис. 144, в).

Рассмотренные условия плавания тел в каждом случае определяются соотношением между плотностями жидкости и погружённого тела.

1. Если плотность тела меньше плотности жидкости ( $\rho_t < \rho_{\text{ж}}$ ), то тело будет плавать на поверхности, частично погрузившись в воду.

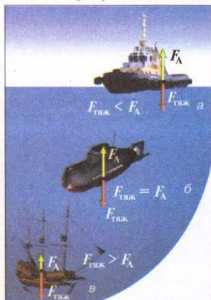


Рис. 144



Рис. 145

2. Если плотность тела равна плотности жидкости ( $\rho_t = \rho_p$ ), то будет наблюдаться состояние **безразличного** (индифферентного) **равновесия**, когда тело может зависнуть на любой глубине (в водоёмах это представляет опасность для судоходства из-за возможного столкновения).

3. Если плотность тела больше, чем плотность жидкости ( $\rho_t > \rho_p$ ), то тело будет тонуть.

Подводная лодка, опустившись на илистое дно, иногда с трудом может оторваться от него. Такое присасывание лодки ко дну возникает в том случае, когда лодка прижимается к грунту так, что между нею и грунтом нет воды. Значит, вода не давит на его нижнюю часть, т. е. не возникает выталкивающей силы.

Для выполнения подводных работ используют водолазные костюмы (рис. 145). Они имеют массу до и более 50 кг, так как подошвы в них делают свинцовыми, чтобы увеличить вес водолаза и придать ему большую устойчивость во время работы в воде. Как же может водолаз передвигаться в таком тяжёлом костюме? Благодаря значительному объёму костюма выталкивающая

сила воды уравнивает почти весь его вес, поэтому водолаз может свободно передвигаться в воде.

Пользуясь аквалангом, изобретённым известным исследователем морских глубин французским учёным Жаком-Ивом Кусто, человек может долго находиться в воде и свободно плавать (рис. 146).

Для исследования морей и океанов на больших глубинах используют батисферы и батискафы. Батисфера (от греческих слов *батис* — глубокий и *сфера*) — это очень прочный стальной шар с иллюминаторами (окнами) из толстого стекла. Внутри шара находятся исследователи, поддерживающие связь с кораблём. Батисферу опускают на стальном тросе.



Рис. 146



Рис. 147

Батискаф (от греческих слов *батис* — глубокий; *скафос* — судно) отличается от батисферы тем, что он не удерживается на тросе, а имеет собственный двигатель и может свободно перемещаться на больших глубинах (до 11 км) в любых направлениях (рис. 147).

Тело, имеющее меньшую плотность, чем некоторые жидкости, по-разному погружается в них. Это явление используют в ареометрах (от греческих слов *араиос* — жидкий и *метрео* — измеряю) — приборах для измерения плотности жидкости по глубине их погружения. Любой ареометр — это стеклянный поплавок в виде трубки с делениями и грузом внизу (рис. 148, а). Он погружается в жидкость тем глубже, чем меньше плотность жидкости. В нижней части ареометра может быть термометр для измерения температуры исследуемой жидкости.

Ареометры имеют ещё и другое название; их называют денсиметрами (от латинских слов *денсус* — густой и *метрео*). Денсиметрами можно измерять

плотности жидкостей от 0,7 до  $2,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . На рисунке 148, б изображены денсиметры разных видов:

1 — денсиметр для измерения плотности жидкостей, плотность которых меньше, чем воды.

Пределы измерения:  $800\text{—}1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

2 — денсиметр для измерения плотности жидкостей, плотность которых больше, чем воды.

Пределы измерения:  $1000\text{—}1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

3 — денсиметр для измерения плотности жидкостей, плотность которых больше, чем воды. Пределы измерения:  $1000\text{—}2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

4 — спиртометр. Пределы измерения: 0—95 %;

5 — лактометр. Имеет метки: «Чистое молоко», « $\frac{1}{4}$  воды», « $\frac{1}{3}$  воды», « $\frac{1}{2}$  воды».

Плавающее тело своей подводной частью вытесняет воду. Вес этой воды равен силе тяжести, действующей на это тело. Это справедливо и для любого судна. Вес воды, которую вытесняет подводная часть судна, равен силе тяжести, действующей на судно с грузом.

Все суда погружаются в воду на определённую глубину, называемую осадкой. Максимально допустимую осадку обозначают на корпусе судна красной линией, называемую **ватерлинией** (от голландского слова *ватер* — вода). Кроме ватерлинии на судах делают и другие пометки, обозначающие

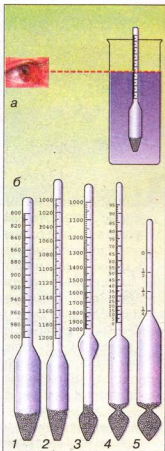
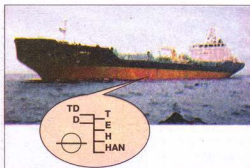


Рис. 148



TD – тропическая тёплая вода;  
 D – тёплая вода;  
 T – тропическая солёная вода;  
 E – летняя солёная вода;  
 H – зимняя холодная вода;  
 HAN – зимняя Северная Атлантика

Рис. 149

уровни погружения судна в разных морях и океанах в зависимости от времени года (рис. 149). Это связано с тем, что плотность воды в различных местах Мирового океана разная, кроме того, она ещё зависит и от температуры воды (летом плотность меньше, чем зимой).

Каждое судно имеет свое водоизмещение. Водоизмещение судна – это вес вытесненной судном воды, равный силе тяжести, действующей на судно с грузом при его погружении в воду.

Наибольшие суда используют для перевозки нефти, их называют **танкерами**. Водоизмещение таких судов достигает 5 000 000 000 Н.

Свыше 200 лет отделяют нас от первых воздушных полётов человека. 5 мая 1783 г. – первая публичная демонстрация полёта оболочки, наполненной горячим воздухом. 21 ноября того же года французские изобретатели братья Жозеф и Этьенн Монгольфье осуществили первый полёт воздухоплавателей (рис. 150). А через 10 дней французский физик Жак Шарль отправился в путешествие по воздушному океану на аэростате собственной конструкции, оболочка которого была наполнена водородом. Этот аэростат стал прообразом дирижаблей.

Для исследования верхних слоёв атмосферы на метеорологических станциях запускают небольшие, диаметром 1–2 м, воздушные шары-зонды (рис. 151). Они поднимаются на высоту до 35–40 км. К ним подвешивают приборы, посылающие по радио сигналы о высоте полёта, давлении, температуре воздуха. По направлению и скорости полёта шара можно определить направление и силу ветра на разных высотах. Сведения, получаемые с таких зондов, очень важны для прогнозирования погоды.

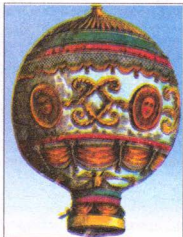


Рис. 150

На рисунке 152 изображён управляемый летательный аппарат, который легче воздуха – дирижабль. Этот аппарат приводят в движение винты, которые вращаются двигателями. Существенный недостаток аппаратов такого типа заключается в том, что их оболочка наполняется огнеопасным газом водородом.

Воздушные шары, стратостаты, дирижабли,

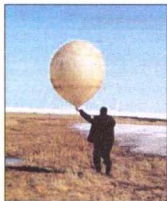


Рис. 151



Рис. 152

зонды поднимаются вверх за счёт того, что они наполнены газами, которые легче воздуха, и на них действует выталкивающая сила.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

• В июне 1893 г. канадский пароход «Порция» совершал рейс из порта Сент-Джон (Ньюфаундленд) в Нью-Брансвик. Мимо судна проплывали огромные ледяные горы – айсберги. Пассажиры захотели получше рассмотреть айсберг и уговорили капитана приблизиться к одному из них. «Порция» застопорила машины в 70 м от айсберга. Длина плавучей горы составляла почти 250 м, а высота – 60 м. Неожиданно ледяная глыба, искрящаяся на солнце, быстро отошла от парохода, и тотчас корпус судна содрогнулся от резкого толчка. Удивлённые матросы и пассажиры увидели, что пароход лежит на огромной льдине и с каждой секундой поднимается все выше и выше над поверхностью воды. Произошел невероятный случай! Известно, что время от времени айсберги переворачиваются. Пароход был подхвачен щелью в подводной части айсберга и оставался на вершине ледяной горы в течение нескольких минут. Потом айсберг пошатнулся и снова занял предыдущее положение, а судно благополучно оказалось в воде. Впрочем, не совсем благополучно: в его обшивке образовалась трещина, и «Порция» едва добралась до ближайшего порта.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Сформулируйте условия плавания тел.
2. В каком случае тело плавает, частично выступая над поверхностью жидкости?
3. В какой из жидкостей будет плавать лед: в керосине, воде или спирте?
4. Для чего используют денсиметры (ареометры)?
5. Почему тонет корабль, получивший пробоину?
6. Что такое осадка? Ватерлиния? Водоизмещение судна?
7. Кто впервые осуществил полет на воздушном шаре?
8. Назовите воздушные летательные аппараты.

## § 32

 ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ВЗВЕШИВАНИЕ

Гидростатическое взвешивание — это метод измерения плотности жидкости или твёрдого тела, основанный на законе Архимеда. Плотность твёрдых тел определяют методом двойного взвешивания тела: сначала в воздухе, а потом в жидкости, плотность которой известна. Если определяют плотность жидкости, то в ней взвешивают тело известной массы и объёма.

Если исследуемое сплошное твёрдое тело тонет в воде, то для выполнения задания нужен лишь лабораторный динамометр (или равноплечие весы) и сосуд с водой.

Сначала определяют вес  $P$  исследуемого тела в воздухе:  $P = mg = \rho Vg$ , где  $\rho$  — неизвестная плотность исследуемого тела, а  $m$  и  $V$  обозначают соответственно его массу и объём.

Потом твёрдое тело погружают в сосуд с жидкостью, плотность которой  $\rho_0$  известна (в случае использования дистиллированной или чистой воды

$\rho_0 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), и определяют вес тела  $P_1$  в жидкости, который по закону Архимеда меньше веса тела в воздухе на значение силы Архимеда  $F_A = g\rho_0 V$ ,  $P_1 = P - F_A$ , отсюда  $F_A = P - P_1$  или  $g\rho_0 V = P - P_1$ .

Из этой формулы можно определить плотность жидкости, если она неизвестна, а объём тела известен:

$$\rho_0 = \frac{P - P_1}{gV}$$

Объём жидкости, вытесненной телом, равен объёму тела, но поскольку

$P = \rho Vg$ , то  $V = \frac{P}{\rho g}$ . Подставим это в выражение для архимедовой силы,

получим  $\frac{\rho_0 P}{\rho} = P - P_1$ , отсюда и вытекает искомая формула для определения плотности вещества твёрдого тела:

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$$



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое гидростатическое взвешивание?
2. Как можно измерить плотность твердого тела?
3. Расскажите, как можно измерить плотность жидкости.
4. Какие приборы используются для измерения плотности твердого тела? Жидкости?



**ЛАБОРАТОРНАЯ  
РАБОТА № 8**
**ИЗМЕРЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ВЕЩЕСТВА МЕТОДОМ  
ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ВЗВЕШИВАНИЯ**

- **Цель работы:** измерить плотность твёрдого тела методом гидростатического взвешивания.
- **Приборы и материалы:** динамометр, штатив с муфтой и лапкой, твёрдое тело с привязанной нитяной петлёй, плотность которого нужно определить, сосуд с чистой водой.

**Ход работы**

1. Повторите по учебнику материал § 32 о гидростатическом взвешивании.
2. Закрепите динамометр на штативе и подвесьте к нему на нитке тело. Определите по показаниям динамометра и запишите в таблицу значение веса тела в воздухе  $P$  ( $P = \rho V g$ ) (рис. 153, а).
3. Подставьте стакан с водой и опускайте муфту с лапкой и динамометром до тех пор, пока тело полностью не погрузится в воду (рис. 153, б). Определите по показаниям динамометра и запишите в таблицу значение веса тела в воде  $P_1$ . Разность между весом тела в воздухе и воде равняется выталкивающей силе  $F_A$  ( $F_A = P - P_1$ ;  $F_A = g \rho_0 V$ ).
4. Вычислите плотность твёрдого тела  $\rho$  по формуле  $\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$  и её значение запишите в таблицу. Плотность чистой воды равна  $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
5. Пользуясь таблицей «Плотность твёрдых тел», определите, из какого вещества изготовлено тело.
6. Сделайте выводы.

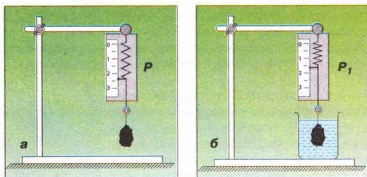


Рис. 153

Вес тела в воздухе $P$ , Н	Вес тела в воде $P_1$ , Н	Плотность вещества твёрдого тела $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

## ➤ Решаем вместе

1. Купаясь в реке с илистым дном, можно заметить, что ноги больше вьзнут на мелких местах, чем на глубоких. Объясните, почему.

Ответ: так как на глубоких местах действует большая выталкивающая сила.

2. Определите, какая архимедова сила действует на тело объёмом  $5 \text{ м}^3$ , погружённое полностью в воду?

Дано:

$$V = 5 \text{ м}^3$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$F_A = 49,05 \text{ кН}$$

$F_A$  — ?

Ответ:  $F_A = 49,05 \text{ кН}$ .

Решение

По формуле  $F_A = g\rho V_T$  определим архимедову силу:

$$F_A = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \text{ м}^3 = 49\,050 \text{ Н}.$$

3. Нужно ли учитывать загрузку судна при переходе его из моря в реку? Догружать или разгружать нужно судно, чтобы его осадка была не глубже ватерлинии?

Ответ: при переходе судна из моря в реку нужно учитывать загрузку судна, так как плотность воды уменьшается. Судно нужно разгружать.

## Уровень А

232. Почему по каменистому дну реки не так больно ходить босыми ногами, как по каменистому берегу?
233. Два мальчика легко подняли со дна озера камень на поверхность воды и вынесли его на берег. На берегу камень показался им намного тяжелее, чем под водой. Почему?
234. Для чего водолазы надевают ботинки со свинцовыми подошвами, а иногда ещё и на грудь и спину цепляют тяжелые свинцовые пластины (рис. 154)?
235. Известно, что, набирая из реки или озера воду, ведро легко поднимать до тех пор, пока оно находится в воде, и тяжелее — по мере вытаскивания его из воды. Объясните это явление.
236. Одинаковы ли натяжения якорной цепи корабля, когда якорь висит в воздухе или находится в толще воды?
237. Какая выталкивающая сила действует на тело объёмом  $2 \text{ м}^3$ , полностью погружённое в воду; в керосин?
238. Какой объём имеет тело, погружённое полностью в воду, если на него действует выталкивающая сила  $40 \text{ Н}$ ?



Рис. 154



Рис. 155



Рис. 156

239. В какую жидкость полностью погрузили тело, если его объем равен  $200 \text{ см}^3$  и на него действует выталкивающая сила  $160 \text{ Н}$ ?
240. Всплывёт или утонет: отливка свинца в ртути; дубовый брусок в бензине; кусок льда в керосине; масло в воде?
241. Почему жир в супе собирается на поверхности?
242. Почему пустая бутылка плавает на поверхности воды, а наполненная водой — тонет?
243. Отвечает ли законам физики такое описание: «... Мы не могли утонуть. Здесь можно вытянуться на воде во всю длину, лёжа на спине и сложив руки на груди, причём большая часть тела будет оставаться над водой (рис. 155). При этом можно совсем поднять голову...»?
244. Тримаран — это широкая лодка, плавающая на трёх больших поплавках (рис. 156). В чём преимущество лодки такого типа?
245. Судно весит  $100\,000\,000 \text{ Н}$ . Сколько воды оно вытесняет?
246. Манометр, установленный на батискафе, показывает, что давление воды равно  $9,8 \text{ МПа}$ . На какой глубине находится батискаф?

### Уровень Б

247. Зависит ли выталкивающая сила, действующая на полностью погружённое в жидкость тело, от глубины его погружения? К весам подвешено два одинаковых алюминиевых тела. Нарушится ли равновесие весов, если оба эти тела погрузить в воду? Одно — в воду, а второе — в керосин?
248. Большинство водорослей имеет тонкий гибкий стебель. Почему им не нужны крепкие, твёрдые стебли? Что произойдёт с водными растениями, если выпустить воду из водохранилища, в котором они растут?
249. Почему выталкивающая сила, действующая на тело в любом газе, во много раз меньше выталкивающей силы, действующей на это же тело в жидкости?
250. Для чего предназначен плавательный пузырь у рыб?
251. Определите на опыте, больше или меньше плотности воды плотность ученической резинки.
252. Очистите картофелину и положите её в воду. Насыпайте в воду соль (размешивая её) до тех пор, пока картофелина не всплывёт. Как объяснить это явление?
253. Выполните такой опыт: в нижнюю часть стеариновой свечи воткните гвоздь так, чтобы свеча плавала в воде вертикально. Зажгите свечу. Как долго будет гореть свеча, плавая в воде?

254. Как проще всего отделить сливки от молока? Что тяжелее: стакан молока или стакан сливок?
255. Существует такой способ очищения зерна от разных примесей: в раствор кухонной соли (20 %) высыпают, например, рожь, засорённую семенами сорняков. Семена сорняков всплывают на поверхность раствора, а зерно тонет. Как это объяснить?
256. Утонет ли в воде стальной ключ в условиях невесомости, например на борту орбитальной станции, внутри которой поддерживается нормальное давление воздуха? Действует ли закон Паскаля в условиях невесомости?
257. В каком молоке — неснятом или снятом — лактометр погружается глубже?
258. Какие приборы изображены на рисунке 157? Для чего они предназначены? Почему шкалы у этих приборов неодинаковые?
259. Как с помощью карандаша или линейки изготовить прибор для сравнения плотности жидкостей, которые содержатся в двух разных сосудах?
260. Изготовьте модель денсиметра из пробирки (рис. 158). Для этого в пробирку положите столько кусочков свинца (стальных шариков или гвоздей), чтобы пробирка держалась на воде вертикально. Отметьте надфилем границу (уровень воды) между подводной и надводной частями пробирки. Выполните то же самое, погружая пробирку в другие жидкости.
261. Если на погружённое в жидкость тело действует постоянная сила  $F_A = \rho_{ж} V_r$ , то каким образом подводная лодка (рис. 159) погружается в море на большую глубину, а потом всплывает?
262. Бывает, что подводная лодка, опустившись на илистое дно, не может подняться, несмотря на то, что балластные цистерны её пусты. Иногда приходится делать холостой выстрел из торпедного аппарата, чтобы сорвать лодку с места. Почему?



Рис. 157

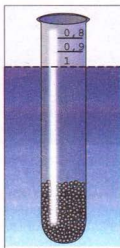


Рис. 158



Рис. 159



Рис. 160

263. Аппарат (рис. 160), предназначенный для исследования морского дна и подводного мира, может погружаться на глубину до 6000 м. Рассчитайте давление морской воды на этой глубине.
264. Лёгкие резиновые шары, наполненные водородом, могут быстро подниматься вверх. Почему эти шары поднимаются? Почему на определённой высоте они лопаются?
265. Изменяется ли подъёмная сила аэростата с увеличением высоты его подъёма? Чему она будет равна, если объём аэростата равен  $20\,000\text{ м}^3$  и он наполнен водородом? Высота подъёма — 2 км.
266. Шар-зонд (рис. 161) объёмом  $10\text{ м}^3$  перед запуском в верхние слои атмосферы наполнили гелием. Какая выталкивающая сила будет действовать на шар-зонд? Будет ли она изменяться с высотой?



Рис. 161

### ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

**Роберт Гук** (18.07.1635 – 03.08.1703) в историю науки вошёл как автор закона зависимости силы упругости от деформации тела и коэффициента упругости. Ему также принадлежит немало работ по оптике, теплоте, небесной механике, в частности, установление точек таяния льда и кипения воды; постоянства точек кипения и плавления для всех тел; клеточного строения организмов; усовершенствование микроскопа; становление физической оптики; а также выводы о том, что сила всемирного тяготения обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами. Бурный темперамент Гука был источником его изобретений. В 1684 г. он представил Королевскому обществу первую в мире систему оптического телеграфа. В 1666 г. в Лондоне произошёл большой пожар, и Роберт Гук стал архитектором. Перестройка города включала даже проектирование мостов через Темзу, канала, церкви, госпиталей Бедлама и Христа, торговых помещений. Известно участие Гука в строительстве Гринвичской обсерватории, которое длилось почти тридцать лет.



Роберт Гук

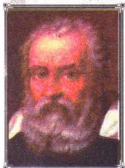
**Исаак Ньютон** (05.01.1643 — 31.03.1727). Будущий учёный родился в Вульсторпе (графство Линкольн) в семье мелкого фермера. С детства увлекался механическими моделями, строил маленькие водяные мельницы, делал самопалы, солнечные часы (в одном из музеев Англии сохранился циферблат часов свыше 350-летней давности). В 1658 г.



Исаак Ньютон

провёл первый физический опыт: стараясь определить скорость ветра, он измерял длину прыжка по ветру и против ветра.

Предметом исследования Ньютона были механические, гравитационные, оптические явления. Ньютон сформулировал основные законы классической механики, открыл закон всемирного тяготения, явление разложения белого света на цветные составляющие, развил теорию света, рассматривая его как поток подвижных световых частиц, разработал (независимо от Г. Лейбница) основные разделы высшей математики. Обобщив результаты исследований своих предшественников и собственных по механике, создал фундаментальную работу «Математические начала натуральной философии», изданную в 1687 г. На надгробной плите учёного высечена трёхгранная призма, раскладывающая белый свет в спектр. В последние годы жизни занимал должность надзирателя; а позднее – директора Королевского монетного двора, где достигнул немалых успехов в перечеканке монет.



Галилео Галилей

**Измерение атмосферного давления. Галилео Галилей** (15.02.1564 — 08.01.1642) первым доказал, что воздух имеет вес. Он взвешивал стеклянный шар. Потом накачивал в него воздух и снова взвешивал. Разность между полученными результатами учёный правильно связал с весом воздуха, накачанного в шар. Но Галилей никак не мог объяснить другой опыт. Почему во всасывающем насосе с подведённой трубой высотой 12 м вода поднимается лишь до 10 м? И как бы долго не качали, вода выше не поднималась!



Эванджелиста  
Торричелли

Ученик Галилея **Эванджелиста Торричелли** (15.10.1608 – 25.10.1647) пришёл к выводу, что жидкость «принуждает» подниматься не сила наших лёгких, а давление воздуха на её поверхность. В 1643 г. он провёл эксперимент с ртутью, плотность которой в 13,6 раза больше, чем плотность воды. Торричелли рассчитал, что столб ртути высотой в 760 мм создаст такое же давление, как и 10-метровый столб воды.

В 1648 г. французский математик и физик **Блез Паскаль** (19.06.1623 – 19.08.1662) провёл опыты с трубкой на склоне горы. Для этого под его руководством была проведена серия экспериментов с барометром при подъёме на вершину горы Пюи-де-Дон (высотой около 1300 м). С высотой уменьшалось количество воздуха над головой, а потому и давление воздуха становилось меньше по сравнению с давлением на уровне моря. Чем выше поднимался Паскаль, тем ниже опускался столбик ртути в его трубке. На основе этих экспериментов было впервые доказано, что с высотой атмосферное давление снижается.



Блез Паскаль

**Изобретение гидравлического пресса.** Независимо от **С. Стевина** законы гидростатики открыл Г. Галилей. Учёный считал, что жидкость состоит из маленьких шариков подобно частицам твёрдого тела. Эти частицы испытывают действие силы тяжести, но они довольно подвижны. Галилей приходит к интересному выводу: если жидкость находится в закрытой бутылке и одна часть поверхности испытывает определенное да-



вление (с помощью пробки), то это давление передаётся в жидкости так, что всякая другая часть поверхности такого же размера будет испытывать точно такое давление. Отсюда следует, что сила давления, которую испытывает поверхность бутылки, относится к силе давления на пробку, как площадь поверхности бутылки относится к поперечному сечению пробки. Поэтому бутылку, наполненную водой, легко разбить одним ударом по пробке. Если под пробкой находится воздух, то он ослабляет удар. Все эти результаты Галилей использовал для конструирования гидравлического пресса, на который в 1594 г. получил патент сроком на 20 лет. Но гидравлический пресс Галилея не нашёл какого-либо существенного применения. Лишь через 200 (!) лет английский механик



Джозеф Брама

**Джозеф Брама** (1749 – 1814) в Лондоне получил патент на пресс, предназначенный для прессования сена и хлопка. Поэтому гидравлический пресс по обыкновению называют прессом Браммы. В узком цилиндре *A* с прочными стенками движется с помощью рычага поршень. Этот цилиндр соединен узкой трубкой с другим, широким цилиндром *B*, в котором движется широкий цилиндрический поршень *C* (рис. 162).

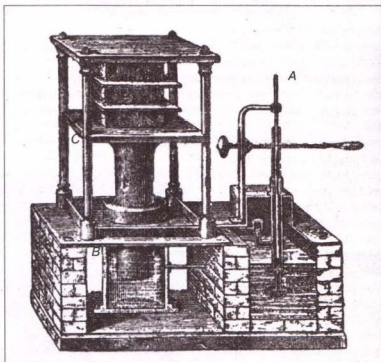


Рис. 162

## Контрольные вопросы

1. Что происходит при взаимодействии двух тел?
2. Как учитывают явление инерции во время сбрасывания из самолёта парашютиста в заданный пункт?
3. Что такое масса тела?
4. Что характеризует сила?
5. Почему мяч, брошенный вертикально вверх, падает на Землю? Какие силы при этом действуют?
6. В чём состоит различие между весом тела и силой тяжести, действующей на него?
7. Сила трения качения меньше силы трения скольжения. Почему же зимой ездят на санях, а не на телеге?
8. Что такое давление и сила давления?
9. От чего зависит гидростатическое давление?
10. Каким свойством обладает атмосферное давление?
11. В чём заключается особенность жидкостных насосов?
12. Действует ли архимедова сила в условиях невесомости?

## Что я знаю и умею делать

**Я умею определять массу и вес тел.**

1. Кит длиной 33 м имеет вес 1 500 000 Н, что соответствует весу 30 слонов. Определите массу кита и вес слона.

**Я знаю, в каких случаях действуют те или иные силы.**

2. Чем объяснить приведённые ниже явления: а) наличием инерции; б) действием силы тяжести; в) действием силы упругости; г) существованием веса; д) невесомостью?

А. Споткнувшийся человек падает вперёд.

Б. Луна вращается вокруг Земли.

В. Мосток через ручей прогибается, если на него стать.

Г. Космонавты «плавают» в космическом корабле.

Д. Пружина, к которой подвесили груз, растягивается.

3. Под действием какой силы происходят указанные явления: а) земного притяжения; б) упругости; в) трения?

А. Яблоко падает с яблони.

Б. Прекращается движение автомобиля после отключения двигателя.

В. Мяч изменяет направление скорости при ударе в штангу.

**Я знаю, как на рисунках изображают силы.**

4. В каких случаях (рис. 163)

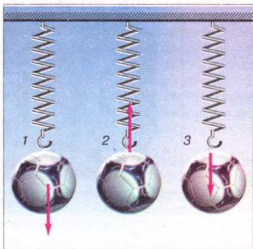


Рис. 163

изображены: а) вес тела; б) сила тяжести; в) сила упругости?

**Я знаю, какие существуют приборы для измерения сил, и умею ими пользоваться.**

5. Какие приборы изображены на рисунке 164? Определите массу и вес изображённых предметов.
6. По рисунку 165 определите силу тяжести, действующую на баклажан, и вес баклажана. Изобразите это графически. Какова масса баклажана?

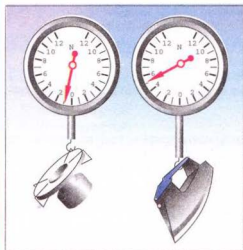


Рис. 164

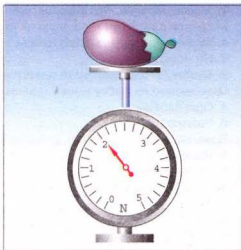


Рис. 165

**Я умею определять значения сил.**

7. Какая сила тяжести действует на тело массой 1 кг 300 г?
8. Парашютист массой 70 кг равномерно опускается. Чему равна сила сопротивления воздуха, действующая на парашютиста?

**Я знаю как складывают силы.**

9. Каков вид движения самолёта? (рис. 166)?

**Я знаю, какие тела плавают, а какие — тонут.**

10. Объясните результаты опыта (рис. 167).
11. Почему железный цилиндр тонет в воде, а лёд — плавает?
12. Лёд плавает на воде. Будет ли он плавать в бензине?

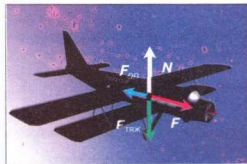


Рис. 166

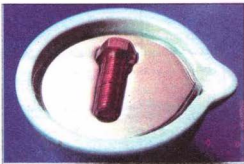


Рис. 167

**Тестовые задания****Вариант I**

1. Если два тела взаимодействуют между собой и первое из них после взаимодействия испытывает большее изменение скорости движения, то говорят, что ...  
А. Массы этих тел одинаковы.  
Б. Масса первого тела больше, чем второго.  
В. Масса первого тела меньше, чем второго.
2. Может ли двигаться тело, если на него не действуют другие тела?  
А. Может, если оно уже двигалось.  
Б. Не может.  
В. Может, но в скором времени остановится.
3. Одинаковую ли массу имеют одинаковые вёдра с питьевой и морской водой?  
А. Одинаковую.  
Б. Разную.
4. Изменится ли сила тяжести, действующая на медную деталь, если её расплавить?  
А. Изменится.  
Б. Не изменится.
5. Чему равен вес шара массой 2 кг?  
А. 19,6 Н.  
Б. 29,4 Н.  
В. 21 Н.  
Г. 18 Н.
6. Какие из указанных причин влияют на значение силы трения?  
А. Природа трущихся поверхностей.  
Б. Силы, которые прижимают друг к другу трущиеся поверхности.  
В. Шершавость поверхностей тел.
7. Какие величины нужно знать, чтобы рассчитать давление жидкости на дно сосуда?  
А. Высоту столба и плотность жидкости.  
Б. Силу давления на дно и площадь дна.  
В. Вес жидкости и её объем.
8. Какому давлению в паскалях соответствует 1 мм рт. ст.?  
А. 1013 Па.  
Б. 133,3 Па.  
В. 133,3 гПа.  
Г. 10,13 Па.
9. В гидравлическом прессе площадь малого поршня равна  $4 \text{ см}^2$ , большого –  $400 \text{ см}^2$ . Какой выигрыш в силе даёт этот пресс?  
А. 100.  
Б. 400.  
В. 10.  
Г. 16 000
10. Чему равна сила, с которой воздух давит на поверхность стола длиной 1,2 м и шириной – 60 см? Атмосферное давление нормальное.  
А. 13 888 Н.      Б. 7,2 кН.      В. 7 200 кН.      Г. 72 кН.

11. Изменится ли значение архимедовой силы, действующей на подводную лодку, если она из моря зайдет в дельту реки?  
А. Не изменится.  
Б. Увеличится.  
В. Уменьшится.
12. Тело плавает внутри жидкости, если...  
А. Сила тяжести больше архимедовой силы.  
Б. Сила тяжести равна архимедовой силе.  
В. Сила тяжести меньше архимедовой силы.

**Вариант II**

1. Если на движущееся тело не действуют другие тела, то скорость его движения...  
А. Уменьшается.  
Б. Увеличивается.  
В. Не изменяется.
2. В ведро весом 19,6 Н налили 10 л воды. Какой стала общая масса ведра с водой?  
А. 29,6 кг.  
Б. 117,6 кг.  
В. 12 кг.  
Г. 20,6 кг.
3. Может ли тело двигаться, если сила тяги и сила трения равны между собой?  
А. Тело обязательно будет находиться в покое.  
Б. Тело может двигаться равномерно.  
В. Может, но скорость тела будет уменьшаться.
4. Какая сила тяжести действует на тело массой 3 кг?  
А. 30 Н.  
Б. 29,43 Н.  
В. 31 Н.  
Г. 29 Н.
5. Определите жёсткость пружины динамометра, к которому подвесили тело массой 100 г, и она удлинилась на 1 см?  
А.  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .      Б.  $102 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .      В.  $98,1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .      Г.  $97 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
6. Зависит ли сила трения от площади поверхности трущихся тел?  
А. Зависит.  
Б. Не зависит.
7. Зависит ли давление жидкости на дно сосуда от площади его дна?  
А. Не зависит.  
Б. Давление тем больше, чем больше площадь.  
В. Давление тем меньше, чем меньше площадь.
8. При нормальном атмосферном давлении вода за поршнем насоса поднимается не более, чем на 10,3 м. На какую высоту при тех же условиях поднимется за поршнем нефть? Плотность нефти равна  $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .  
А. 10,3 м.      Б. 12,9 м.      В. 11,3 м.      Г. 8 м.

9. Определите высоту уровня воды в водонапорной башне, если манометр, установленной у её основания, показывает давление 22 кПа.
- А. 2,2 м.
  - Б. 10,3 м.
  - В. 12 м.
  - Г. 22 м.
10. В воду бросают две одинаковые закупоренные бутылки – с водой и пустую. Одинаковые ли архимедовы силы будут действовать на них, если обе бутылки находятся под водой?
- А. Бóльшая на пустую бутылку.
  - Б. Бóльшая на бутылку с водой.
  - В. Одинаковые.
11. Тело весом 20 Н при погружении в воду вытесняет объём воды весом 15 Н. Утонет ли тело?
- А. Утонет.
  - Б. Будет плавать внутри жидкости.
  - В. Будет плавать на поверхности жидкости.
12. Пробирку поместили в мензурку с водой. Уровень воды при этом повысился от деления 100 до 120 мл. Сколько весит пробирка, плавающая в воде?
- А. 2 Н.
  - Б. 0,2 Н.
  - В. 0,02 Н.
  - Г. Правильного ответа нет.





# РАБОТА И ЭНЕРГИЯ

- Механическая работа и мощность
- Кинетическая и потенциальная энергии
- Закон сохранения энергии
- Простые механизмы
- Условие равновесия рычага
- «Золотое правило» механики



### § 33 МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА. ЕДИНИЦЫ РАБОТЫ

В повседневной жизни слово «работа» употребляется очень часто. Работой называют любую полезную работу рабочего, учёного, ученика.

В физике понятия работы значительно уже. Прежде всего рассматривают механическую работу.

**Механическая работа выполняется при перемещении тела под действием приложенной к нему силы.**

Рассмотрим примеры механической работы. Автомобиль тянет с определённой силой прицеп и перемещает его на некоторое расстояние, при этом выполняется механическая работа. Рабочий поднимает пакеты (рис. 168) и складывает их. Он выполняет механическую работу.

Шайба движется по льду, под действием силы трения она через некоторое время останавливается. В этом случае также выполняется механическая работа.

Рассмотрим, от чего зависит значение механической работы.

Для того чтобы поднять груз массой 1 кг на высоту 1 м, нужно приложить силу 9,8 Н. При этом выполняется механическая работа. А для того чтобы поднять тело массой 10 кг на такую же высоту, нужно приложить силу, в 10 раз большую. Выполненная работа в этом случае будет в 10 раз больше. Если поднимать тело массой 1 кг не на 1 м, а, например, на 10 м, то работа, выполненная при подъёме груза на 10 м, будет в 10 раз больше работы, выполненной при подъёме тела на 1 м.

**Следовательно, механическая работа прямо пропорциональна приложенной к телу силе и расстоянию, на которое это тело перемещается.**

Чтобы определить выполненную механическую работу, нужно значение силы умножить на путь, пройденный телом в направлении действия силы, т. е.

$$\text{Механическая работа} = \text{Сила} \times \text{Путь},$$

или

$$A = Fl,$$

где  $A$  — механическая работа;  $F$  — сила;  $l$  — путь, пройденный телом в направлении действия силы.

Единицей работы в СИ является один джоуль (1 Дж).

**1 джоуль — это работа, которую выполняет сила 1 Н, перемещая тело на 1 м в направлении действия силы:  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \times 1 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .**

Эта единица названа в честь английского физика Джеймса Джоуля. Единицами механической работы являются также килоджоуль и мегаджоуль:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж};$$



Рис. 168

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж.}$$

Рассмотрим случаи, когда механическая работа не выполняется.

Мы хотим передвинуть тяжёлый шкаф, действуем на него с силой, но не можем сдвинуть его с места (т. е.  $l = 0$ ) – работа не выполняется.

Если тело движется по инерции (т. е.  $F = 0$ ), то работа также не выполняется.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какую работу называют механической?
2. Приведите примеры, когда тела выполняют механическую работу.
3. Как определяют механическую работу?
4. Назовите единицы механической работы.
5. В каких случаях работа не выполняется?

## § 34 МОЩНОСТЬ. ЕДИНИЦЫ МОЩНОСТИ

Рассмотрим следующие примеры выполнения механической работы.

Двум ученикам одинаковой массы нужно подняться по канату вверх на одну и ту же высоту (рис. 169), т. е. выполнить одинаковую механическую работу. Один из них может выполнить это быстрее.

Подъёмный кран на строительстве за несколько минут поднимает на заданную высоту, например, 400 кирпичей. Если бы эту работу выполнял рабочий, переноса кирпич вручную, то он затратил бы на это весь рабочий день.

Гектар земли сильная лошадь может вспахать за 10–12 ч, а трактор с многолемеховым плугом эту работу выполняет за 40–50 мин.

В этих примерах один из учеников выполняет одну и ту же работу быстрее, чем другой, подъёмный кран – быстрее, чем рабочий, а трактор – быстрее, чем лошадь. Скорость выполнения работы характеризуют физической величиной, которую называют **мощностью**.



Рис. 169

**Мощность – это физическая величина, которая определяется отношением выполненной работы к затраченному времени.**

Чтобы определить мощность, нужно работу разделить на время её выполнения:

$$\text{Мощность} = \frac{\text{Работа}}{\text{Время}}, \text{ или } N = \frac{A}{t},$$

где  $N$  – мощность;  $A$  – механическая работа;  $t$  – время.

Единицей мощности в СИ является **один ватт (1 Вт)**. Она названа в честь английского изобретателя паровой машины Джеймса Уатта.

**1 ватт – это мощность, при которой за 1 с выполняется работа 1 Дж:**

$$1 \text{ ватт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ секунда}}, \text{ или } 1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Используют также другие единицы мощности: киловатт и мегаватт:

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

Зная мощность двигателя  $N$ , можно определить работу  $A$ , которую выполняет этот двигатель на протяжении определённого интервала времени  $t$ , по формуле:

$$A = Nt.$$

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Мощность сердца в покое у разных людей лежит в пределах 0,7–1,8 Вт, т. е. она соизмерима с мощностью электрического звонка. При нагрузке она может возрастать в 2–6 раз, у тренированных людей – даже в 10 раз. Длительное время человек способен работать со средней мощностью 75 Вт, а кратковременно, например во время бега, – до 600 Вт.
- Хвост голубого кита имеет горизонтальные лопасти. Он развивает мощность 368 кВт. Эта мощность только в 2 раза меньше мощности двигателя самолёта Ан-2 и в 7 раз больше мощности двигателя трактора ДТ-75.
- Тепловоз имеет мощность 4400 кВт, а ракета-носитель «Протон» – свыше 44 000 Мвт.

### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое мощность?
2. По какой формуле определяют мощность?
3. Какие существуют единицы мощности?
4. Как можно определить механическую работу, зная мощность двигателя и время, в течение которого он работал?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Какую работу выполняет трактор, тянущий прицеп с силой 15 000 Н на расстояние 300 м?

Дано:  
 $F = 15\,000 \text{ Н}$   
 $l = 300 \text{ м}$

$A = ?$

Решение

По формуле  $A = Fl$  определяем работу, выполненную трактором:  
 $A = 15\,000 \text{ Н} \cdot 300 \text{ м} = 4\,500\,000 \text{ Дж}.$   
 $A = 4500 \text{ кДж} = 4,5 \text{ МДж}.$

Ответ: трактор выполняет работу, равную 4500 кДж или 4,5 МДж.

2. Какую работу нужно выполнить, чтобы поднять мешок сахара массой 50 кг на второй этаж высотой 3 м?

Дано:

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$H = 3 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$A = ?$

Решение.

Работу для подъёма тела на некоторую высоту определяем по формуле:

$$A = FH. \text{ Если сила тяжести } F = mg,$$

$$\text{тогда } A = mgH.$$

$$A = 50 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 3 \text{ м} = 1500 \text{ Дж}.$$

$$A = 1500 \text{ Дж}.$$

Ответ: чтобы поднять мешок сахара на второй этаж, нужно выполнить работу, равную 1500 Дж.

3. Определить мощность двигателя, если он за 10 мин выполнил работу 7200 кДж.

Дано:

$$A = 7200 \text{ кДж} =$$

$$= 7\,200\,000 \text{ Дж}$$

$$t = 10 \text{ мин} = 600 \text{ с}$$

$N = ?$

Решение

По формуле  $N = \frac{A}{t}$  определяем

мощность двигателя:

$$N = \frac{7\,200\,000 \text{ Дж}}{600 \text{ с}} = 12\,000 \text{ Вт} = 12 \text{ кВт}.$$

Ответ: мощность двигателя равна 12 кВт.

### Уровень А

267. Какие силы выполняют работу в случаях:  
а) падения камня на Землю;  
б) остановки автомобиля после выключения его двигателя;  
в) подъёма штанги спортсменом;  
г) подъёма воздушного шара.
268. Поднимая какой из грузов, подъёмник выполняет меньшую работу (рис. 170)? Во сколько раз?
269. Ящик передвигают по полу на расстояние 5 м. Сила трения равна 100 Н. Какую работу выполняют при этом?
270. Человек массой 70 кг поднимается на высоту 5 м. Какую работу он выполняет?
271. При подъёме тела массой 20 кг выполнена механическая работа 80 Дж. На какую высоту подняли тело?
272. Мощности автомобиля и трактора почти одинаковы, а движутся они с разными скоростями. Почему? У какой из машин сила тяги больше?



Рис. 170

273. Самолёт, построенный в 1882 г. инженером Александром Можайским, имел два паровых двигателя общей мощностью 22 кВт. Определите, какую работу выполняли эти двигатели за 0,5 ч.

### Уровень Б

274. Электрокар тянет тележку со скоростью  $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , преодолевая силу сопротивления 400 Н. Какую работу выполняет двигатель электрокара за 8 мин?
275. Лифт, поднимая на шестой этаж 6 человек, выполнил работу 84 000 Дж. Масса одного человека — 70 кг. На какой высоте расположен шестой этаж?
276. Мальчик, масса которого 30 кг, за 20 с поднялся по ступенькам на высоту 10 м. Какую мощность развил мальчик?
277. Подъёмный кран работал 10 мин. За это время он выполнил работу 20 Мдж. Какую мощность развил подъёмный кран?
278. Определите мощность, развиваемую трактором, если он, двигаясь равномерно со скоростью  $3,6 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ , преодолевает силу сопротивления 42 500 Н.
279. На гирию настенных маятниковых часов действует сила тяжести 8 Н. Какова мощность часового механизма, если за 24 ч гирия опускается на 120 см?
280. Подъёмный кран равномерно поднимает груз на высоту 10 м за 20 с. Какую мощность развивает кран, если на груз действует сила тяжести 5000 Н?

## § 35 КИНЕТИЧЕСКАЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИИ

Для работы двигателей, приводящих в движение автомобили, трактора, тепловозы, самолёты, необходимо топливо, являющееся источником энергии. За счёт энергии воды, падающей с высоты, вращаются гидротурбины, соединённые с электрическими машинами, вырабатывающими электрический ток. Человеку для того чтобы существовать и работать, также необходим источник энергии. Говорят, что для того, чтобы выполнять любую работу, необходима энергия. *Что же такое энергия?*

♦ **Опыт 1.** Поднимем над Землёй мяч. Пока он находится в состоянии покоя, механическая работа не выполняется. Отпустим его. Под действием силы тяжести мяч падает на Землю с определённой высоты. При падении мяча выполняется механическая работа.

♦ **Опыт 2.** Сожмём пружину, зафиксируем её нитью и поставим на пружину гирию (рис. 171). Пережжём нить, пружина распрямится и поднимет гирию на некоторую высоту. Пружина выполнила механическую работу.

♦ **Опыт 3.** На тележке закрепим стержень с блоком на конце (рис. 172). Через блок перекинем нить, один конец которой намотан на ось тележки,

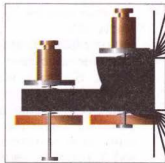


Рис. 171



а на втором висит грузик. Отпустим грузик, под действием силы тяжести он будет опускаться вниз и приведёт в движение тележку. Грузик выполнил механическую работу.

♦ **Опыт 4.** Стальной шарик *A*, скатившийся по наклонной плоскости (рис. 173), также выполнил механическую работу: он переместил цилиндр *B* на некоторое расстояние.

Если тело или несколько тел при взаимодействии выполняют механическую работу, то это значит, что они имеют механическую энергию, или энергию.

Мяч, поднятый над Землёй, сжатая пружина, движущийся стальной шарик имеют энергию.

**Энергия** – физическая величина, характеризующая способность тел выполнять работу.

Энергия (от греческого слова *энергия* — деятельность) обозначается большой латинской буквой *E*. Единицей энергии, а также и работы в СИ является **один джоуль (1 Дж)**. Из приведённых опытов видно, что тело выполняет работу тогда, когда переходит из одного состояния в другое: поднятый над Землёй грузик опускается, сжатая пружина распрямляется, движущийся шарик останавливается. Энергия тела при этом изменяется (уменьшается), а выполненная телом механическая работа равна изменению его механической энергии.

Различают два вида механической энергии — **потенциальную и кинетическую**.

**Потенциальная энергия** (от латинского слова *потенциал* — возможность) — это энергия, которая определяется взаимным положением взаимодействующих тел или частей одного тела.

Поскольку любое тело и Земля притягивают друг друга, т. е. взаимодействуют, то потенциальная энергия тела, поднятого над Землей, будет зависеть от высоты подъёма *h*. Чем больше высота подъёма тела, тем больше его потенциальная энергия.

Опытами установлено, что потенциальная энергия тела зависит не только от высоты, на которую оно поднято, но и от массы тела. Если тела подняты на одинаковую высоту, то тело, у которого масса больше, будет иметь и большую потенциальную энергию. Во время падения поднятого тела на поверхность Земли сила тяжести выполнила работу, соответствующую изменению потенциальной энергии тела со значения её на высоте *h* до значения на поверхности Земли. Если для удобства принять, что потенциальная энергия тела на поверхности Земли равна нулю, то потенциальная энергия поднятого тела будет равна выполненной во время падения работе:



Рис. 172

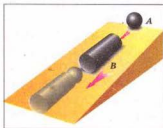


Рис. 173

$$E_{\text{п}} = A = F_{\text{тяж}} h = mgh.$$

Итак, потенциальную энергию тела, поднятого на некоторую высоту, будем определять по формуле:

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

где  $E_{\text{п}}$  — потенциальная энергия поднятого тела;  $m$  — масса тела;  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $h$  — высота, на которую поднято тело.

Большой запас потенциальной энергии у воды горных или равнинных рек, поднятых плотинами. Падая с высоты вниз, вода выполняет работу: приводит в движение турбины гидроэлектростанций. В Украине на Днестре построено несколько гидроэлектростанций, в которых используют энергию воды для получения электроэнергии. На рисунке 174 изображено сечение такой станции. Вода с более высокого уровня падает вниз и вращает колесо гидротурбины. Вал турбины соединён с генератором электрического тока.

Потенциальной энергией обладает самолёт, летящий высоко в небе; дождевые капли в туче; молот копра при забивании свай. Открывая двери с пружиной, мы растягиваем её, преодолевая силу упругости, т. е. выполняем работу. Вследствие этого пружина приобретает потенциальную энергию. За счёт этой энергии пружина, сокращаясь, выполняет работу — закрывает двери. Потенциальную энергию пружин используют в часах, разнообразных заводных игрушках. В автомобилях, вагонах пружины амортизаторов и буферов, деформируясь, уменьшают толчки.

Потенциальная энергия пружины зависит от её удлинения (изменения длины при сжатии или растяжении) и жёсткости (зависит от конструкции пружины и упругости материала, из которого она изготовлена). Чем больше

удлинение (деформация) пружины, и чем больше её жёсткость, тем большую потенциальную энергию она приобретает при деформации. Такая зависимость свойственна любому упруго деформированному телу.

Потенциальную энергию упруго-деформированного тела определяют по формуле:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2},$$

где  $E_{\text{п}}$  — потенциальная энергия упруго деформированного тела (пружины);  $k$  — жёсткость тела (единица жёсткости —  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ );  $x$  — удлинение (деформация) тела (пружины).

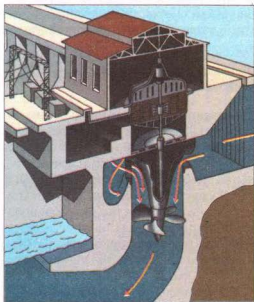


Рис. 174



Рис. 175

Но тела могут обладать энергией не только потому, что они находятся в определённом положении или деформируются, а и потому, что они находятся в движении.

**Кинетическая энергия** (от греческого слова *кинетикос* – тот, что приводит в движение) – это энергия, которой тело обладает вследствие собственного движения.

Кинетической энергией обладает ветер, её используют для сообщения движения ветряным двигателям. Движущиеся массы воздуха оказывают давление на наклонные плоскости крыльев ветряных двигателей и заставляют их вращаться. На рисунке 175, а изображена ветряная мельница, в которой за счёт энергии ветра мелют зерно. Современные довольно мощные ветряные двигатели (рис. 175, б) используют для того, чтобы вырабатывать электроэнергию, качать из скважин воду и подавать её в водонапорные башни.

Движущаяся вода или нагретый пар, вращая турбины электростанции, теряет часть своей кинетической энергии и выполняет работу. Самолёт, летящий высоко в небе, кроме потенциальной обладает и кинетической энергией. Если тело находится в состоянии покоя, т. е. его скорость относительно Земли равна нулю, то и его кинетическая энергия относительно Земли будет равна нулю.

Опытами установлено, что чем больше масса тела и скорость, с которой оно движется, тем больше его кинетическая энергия. Выведенная зависимость математически выражается такой формулой:

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

где  $E_k$  — кинетическая энергия тела;  $m$  — масса тела;  $v$  — скорость движения тела.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют энергией?
2. Какую энергию называют потенциальной? Кинетической?
3. От чего зависит потенциальная энергия тела, поднятого над Землёй?
4. Как определяют потенциальную энергию упруго деформированного тела?
5. Как определяют кинетическую энергию тела?

## § 36

## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Из рассмотренных примеров следует, что все тела в природе обладают или потенциальной, или кинетической энергией. Но в большинстве случаев тело (например, самолёт в полёте) обладает одновременно и потенциальной, и кинетической энергией.

Сумму потенциальной и кинетической энергий тела называют **полной механической энергией**.

В природе, технике и быту можно наблюдать взаимный переход потенциальной и кинетической энергий тел.

♦ **Опыт 1.** Рассмотрим прибор с грузиком и пружиной (рис. 176), выясним, какие изменения энергий этих тел будут происходить во время его действия. Поднимая грузик массой  $m$  на высоту  $h$  над пружиной, мы сообщаем ему запас полной механической энергии  $E$  потенциального вида:  $E = E_{n1} = mgh$ . При падении грузика его потенциальная энергия уменьшается, но возрастает скорость  $v$ , а вместе с ней и кинетическая энергия  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ . На уровне пружины вся потенциальная энергия превратится в кинетическую, а за её счёт пружина сожмётся и приобретёт потенциальную энергию  $E_{n2} = \frac{kx^2}{2}$ . При этом кинетическая энергия грузика перейдёт в потенциальную энергию упруго деформированного тела (пружины). Когда со временем пружина распрямится и сообщит грузику скорость  $v$ , её потенциальная энергия снова перейдёт в кинетическую энергию грузика, за счёт которой он поднимется на высоту  $h$ . Далее процесс мог бы повторяться бесконечно, при этом значение запаса полной механической энергии грузика и пружины было бы постоянным и в любой момент движения было бы равным сумме всех видов энергии:

$$E = E_{n1} + E_{n2} + E_k = \text{const}.$$

На самом деле движение будет затухать и со временем прекратится, поскольку исходный запас энергии израсходуется на преодоление сил трения и сопротивления воздуха.

♦ **Опыт 2.** Изменение потенциальной и кинетической энергий можно наблюдать также с помощью прибора, который называется маятником Максвелла (рис. 177).

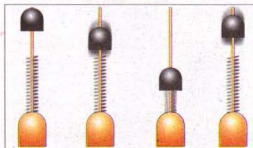


Рис. 176

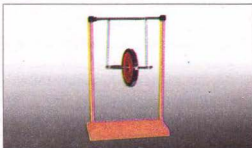


Рис. 177

Если накрутить на ось нить, то диск прибора поднимется на некоторую высоту  $h$  и будет иметь запас полной механической энергии потенциального вида  $E = E_{\text{п}} = mgh$ . Если диск отпустить, то он, вращаясь, начнёт падать. При падении потенциальная энергия диска уменьшается, но вместе с тем возрастает его кинетическая энергия, т. е. происходит изменение потенциальной и кинетической энергий. В конце падения диск приобретает такую кинетическую

энергию  $E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ , которой достаточно для того, чтобы он снова поднялся почти на прежнюю высоту. Если бы не было потерь энергии на выполнение работы по преодолению сил сопротивления, то движение маятника повторялось бы бесконечно, а его полная механическая энергия имела бы постоянное значение и в любой точке была бы равна сумме потенциальной и кинетической энергий диска:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}.$$

На основе многочисленных исследований движения и взаимодействия тел, подобных рассмотренным нами примерам, был установлен очень важный закон сохранения механической энергии.

**Если изолированные от внешнего влияния тела взаимодействуют между собой силами тяготения и упругости, то их полная механическая энергия остаётся неизменной во время движения, т. е. всегда выполняется соотношение:**

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

**При этом энергия не создаётся из ничего и не исчезает, а только переходит из потенциальной в кинетическую энергию и наоборот.**

На практике любое движение тел происходит при наличии большего или меньшего сопротивления среды.

Для примера рассмотрим движение груза, опускающегося на парашюте (рис. 178). До раскрытия парашюта груз движется вниз, увеличивая собственную скорость падения. Потенциальная энергия груза уменьшается, за счёт чего возрастает кинетическая энергия и выполняется работа по преодолению сил сопротивления воздуха. После раскрытия парашюта резко возрастает сопротивление воздуха и уменьшаются скорость падения, а вместе с ней — и кинетическая энергия груза. Уменьшение скорости падения груза происходит до определённого значения, достигнув которого он начинает двигаться вниз с постоянной скоростью. Кинетическая энергия груза при этом также остаётся постоянной, потенциальная же энергия всё время уменьшается вместе с высотой.



Рис. 178

Полная механическая энергия груза в наивысшей точке  $E_1$  равна его потенциальной энергии в этой точке, т. е.  $E_1 = E_n = mgh$ ; полная механическая энергия груза в момент приземления  $E_2$  равна его кинетической энергии в этот момент, т. е.  $E_2 = E_k = \frac{mv^2}{2}$ . Работа по преодолению сил сопротивления воздуха при падении груза была выполнена за счёт уменьшения его полной механической энергии и определяется формулой:

$$A = E_1 - E_2.$$

Итак, всегда при наличии сопротивления среды механическая работа движущегося тела выполняется за счёт уменьшения его полной механической энергии.

То же происходит, когда при движении действуют силы трения между твёрдыми телами. Например, при подходе поезда к станции двигатель тепловоза не работает, работа против сил трения выполняется за счёт уменьшения кинетической энергии поезда, скорость которого при этом уменьшается.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Приведите примеры, когда тела имеют потенциальную и кинетическую энергии.
2. В чём заключается закон сохранения механической энергии?
3. В каких случаях закон сохранения механической энергии не выполняется?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Какое из тел на рисунке 179 имеет наибольшую потенциальную энергию? Наименьшую? Вычислите их, если все тела подняты на высоту 2 м.

Ответ: все тела находятся на одинаковой высоте, поэтому наибольшую потенциальную энергию имеет тело 2, масса которого 5 кг, а наименьшую — тело 4, масса которого 2 кг.

Чтобы вычислить значение этих энергий, воспользуемся формулой:

$$E_n = mgh.$$

$$E_{n2} = 5 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ м} = 98,10 \text{ Дж},$$

$$E_{n4} = 2 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ м} = 39,24 \text{ Дж}.$$

2. Тело массой 10 кг подняли на высоту 10 м ипустили. Какую кинетическую энергию оно будет иметь на высоте 5 м? Сопротивлением воздуха пренебречь.

Дано:  
 $m = 10 \text{ кг}$   
 $h = 10 \text{ м}$

Решение

Тело массы  $m$ , поднятое на высоту  $h$ , имеет потенциальную энергию  $E_n = mgh$ .

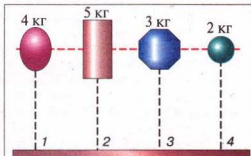


Рис. 179



$$h_1 = 5 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$E_{\text{кл}} - ?$$

Если тело падает, то на некоторой высоте  $h_1$  оно имеет потенциальную энергию  $E_{\text{п1}} = mgh_1$  и кинетическую  $E_{\text{кл}}$ .

Пользуясь законом сохранения энергии, запишем:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{п1}} + E_{\text{кл}}.$$

$$\text{Тогда } E_{\text{кл}} = E_{\text{п}} - E_{\text{п1}} = mgh - mgh_1 = mg(h - h_1).$$

Подставив значения величин, получим:

$$E_{\text{кл}} = 10 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot (10 \text{ м} - 5 \text{ м}) = 490,5 \text{ Дж}.$$

Ответ:  $E_{\text{кл}} = 490,5 \text{ Дж}$ .

### Уровень А

281. Дополните предложения:

При падении мяча вертикально вниз увеличивается его ... энергия и ... потенциальная энергия.

Энергия — ... величина, которая характеризует способность тела выполнять ..., единицей энергии является ...

282. Вместо точек впишите названия физических величин или их единиц: скорость движения тела — ...;

... — 1 Н;

... — 1 Дж;

энергия — ...

283. Определите, каким видом механической энергии (кинетической, потенциальной, кинетической и потенциальной) обладают тела (или не имеют механической энергии):

а) мчащийся поезд;

б) летящий самолёт;

в) сжатая пружина;

г) подвешенная к потолку люстра;

д) лежащий на футбольном поле мяч (мяч считать материальной точкой).

284. За счёт чего мы забиваем гвоздь в дерево молотком?

285. Тела массой 5 кг и 3 кг движутся с одинаковой скоростью. Которое из них имеет большую кинетическую энергию?

286. Объясните, какие изменения энергии происходят в таких случаях:

а) при падении воды в водопаде (рис. 180);

б) при подбрасывании мяча вертикально вверх

в) при закручивании пружины будильника (рис. 181);

г) на примере дверной пружины.

287. Объясните, зачем вагоны поезда оборудованы буферами.

288. С какой целью хрупкие вещи перед перевозкой упаковывают в солому или вату?



Рис. 180



Рис. 181

289. Какую потенциальную энергию имеет тело массой 3 кг, поднятое на высоту 10 м?
290. Определить массу тела, поднятого на высоту 5 м, если его потенциальная энергия равна 981 Дж.
291. Какую потенциальную энергию имеет пружина, если её сжали на 8 см? Жёсткость пружины  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
292. Велосипедист массой 70 кг движется со скоростью  $36 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Какова кинетическая энергия велосипедиста?

### Уровень Б

293. Могут ли два тела разной массы иметь одинаковую кинетическую энергию? При каком условии?
294. У какого автомобиля должны быть «мощнее» тормоза: легкового или грузового? Почему?
295. Почему резиновый мяч подскакивает, если бросить его на пол? Какие изменения энергии происходят при этом?
296. Запас какой энергии имеет пружина заведённых ручных механических часов? Что означает «завести пружину часов»?
297. Почему дрова рубят не малым, а массивным топором? За счёт какой энергии разрушается дерево?
298. Почему на дорогах легковым автомобилям разрешено ехать с большей скоростью, чем грузовым?
299. Украинский спортсмен Сергей Бубка, выполняя прыжки с шестом (рис. 182), преодолел высоту 6 м 20 см. За счёт какой энергии он поднялся на такую высоту? Какие изменения энергии происходили во время прыжка?
300. Для акробатических прыжков, прыжков в воду, прыжков при выполнении некоторых гимнастических упражнений применяют трамплин, который является упругой доской, закреплённой с одного конца. Объясните принцип действия трамплина и вспомните, какие изменения энергии происходят при этом.
301. За счёт какой энергии санки спускаются со снежной горы? Какие изменения энергии происходят при этом? Какими видами энергии обладают санки на середине спуска?
302. Ветер, дующий с большой силой на открытом месте, значительно ослабевает, если на его пути есть лес, а в лесу совсем стихает. На что расходуется при этом кинетическая энергия движущегося воздуха? Как используют это явление для борьбы с суховеями в степных районах?
303. Какая река — горная или равнинная — имеет



Рис. 182

больший энергетический ресурс? С какой оговоркой нужно ответить на этот вопрос?

304. Перегораживая реку плотиной (рис. 183) при сооружении гидроэлектростанции, решают три проблемы. Какие? Поясните. Какова роль плотины?

305. Тело массой 20 кг упало с крыши дома высотой 25 м. Определите потенциальную и кинетическую энергии тела на высоте 10 м.

306. Какие виды энергии имеет груз массой 2 т в кузове автомобиля, движущегося по дороге со скоростью  $72 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ? Определите их. Высота кузова — 1,2 м.



Рис. 183

## § 37 МАШИНЫ И МЕХАНИЗМЫ

Орудие, которое держит человек выполняя работу, повторяет те движения, которые выполняет рука. Например, разбивая скорлупу ореха, молоток так же поднимается и опускается, как и кулак. Такие движения не всегда имеют достаточную точность и скорость. Удары молотком, клинком или остриём не всегда попадают в одно и то же место обрабатываемого тела. При шитье лёгкой иглой с нитью приходится поднимать во много раз более тяжёлую руку, выполняя при этом лишнюю работу. Потребность уменьшить работу на бесполезные движения, увеличить скорость и точность действия орудия работы обусловила необходимость удерживать это орудие не просто рукой, а закреплять его в специальных устройствах, которые выполняли бы абсолютно точные и быстрые движения. Видимо, таким путём реализовывалась потребность человека в **машинах и механизмах**. Например, швея за одну минуту выполняет около 50 стежков, а сконструированная для этой самой операции швейная машина с механическим приводом делает 1500 одинаковых стежков за одну минуту.

В переводе с древнегреческого слово «механизм» означает орудие, устройство. В эпоху расцвета греческого театра (500 г. до н. э.) с помощью специальных устройств поднимали и опускали на сцене актёров, которые изображали богов. Эти устройства называли «механе», отсюда, наверное, и происходит термин «механизм» и др. Когда человеку при выполнении работы нужно переместить какое-то тело относительно других тел или изменить направление его движения, он использует специальные устройства, называемые механизмами. Как свидетельствует история, человек начал использовать один из первых механизмов — лук — ещё за 12 тыс. лет до н. э. Множество механизмов используются в современной технике и быту, в частности колесо, шестерни, петли, клин и др.

**Механизм** — это устройство, которое передает движение или превращает один вид движения в другой.



Рис. 184

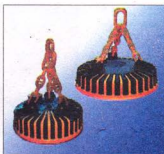


Рис. 185



Рис. 186



Рис. 187



Рис. 188

Слово «машина» стали широко употреблять лишь с XVIII в. Им называли устройства, изобретённые инженерами для выполнения основных производственных операций (работы). Человек лишь управлял такими устройствами-машинами. Если, например, человек копает землю лопатой (орудием труда), экскаватор (машина) (рис. 184) выполняет то же самое действие своим ковшом. Электромагнитный кран грузит металл (рис. 185), крановщик лишь управляет этим процессом.

Машинами являются также велосипед (рис. 186), используемый человеком для передвижения, батискаф — подводный аппарат (рис. 187) для исследования морских глубин, космический корабль (рис. 188), без которого было бы невозможно освоение космического пространства.

Для выполнения работы в каждой машине имеется соответствующий **рабочий орган**: у экскаватора — ковш, подъёмного крана — электромагнит, велосипеда — ведущее колесо. Рабочий орган машины нужно приводить в движение, затрачивая энергию: в велосипеде — мышечных усилий ног человека, в экскаваторе и космическом корабле — энергию сгорания топлива, в электромагнитном кране — электрическую энергию. Следовательно, в каждой машине должно быть устройство, в котором тот или иной вид энергии превращается в механическое движение. Такое устройство называют **двигателем**.

Механическое движение от двигателя к рабочему органу машины сообщается разными **передаточными механизмами** (например, шестернями, цепями).

Таким образом, в каждой машине имеется три основные части — **рабочий орган, передаточный механизм и двигатель**. Наличие этих трёх частей отличает машину от других технических устройств.

**Машина** – это механизм или сочетание механизмов для преобразования энергии из одного вида в другой.

В наше время всё шире и шире используются не отдельные машины, а системы машин автоматического действия.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют механизмом? Машиной?
2. Укажите, что из перечисленных названий является машиной, а что – механизмом: колесо, автомобиль, лук, экскаватор, клин, самолёт, петля, ракета.
3. Назовите механизмы, используемые в автомобиле.

## § 38 ПРОСТЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Тысячи лет тому назад люди выполняли все работы с помощью силы мышц. Со временем они изобрели различные механизмы, чтобы облегчить свой труд. Люди убедились в том, что намного легче перемещать грузы, перекатывая их на катках. На основе этого они изобрели колесо (рис. 189).

Представьте, что вам нужно поднять, например, ящик, который наполнен инструментами и весит намного больше, чем вы (рис. 190). Как это сделать?

Наверное, нужно найти крепкую жердь или металлический стержень, нижним концом упереть его в грунт под ящиком и поднять груз, воспользовавшись механизмом, который называют **рычагом**.

**Рычаг** – это твёрдое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной опоры.

Блоки помогают поднимать и опускать грузы.

**Блок** – это колесо с жёлобом, закреплённое в обойме (рис. 191).

Через жёлоб блока пропускают верёвку, трос или цепь.

♦ **Опыт 1.** К нити прикрепим груз. Нить перекинем через блок. Свободный конец нити прикрепим к динамометру. При подъёме и опускании груза ось блока не движется. Динамометр показывает значение силы, с которой мы поднимаем груз (рис. 192).



Рис. 189



Рис. 190



Рис. 191

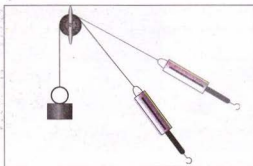


Рис. 192

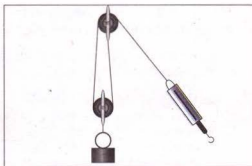


Рис. 193

**Неподвижный блок** – это блок, ось которого при подъёме или опускании грузов неподвижна.

Изменяя положение динамометра, обращаем внимание на то, что показания динамометра остаются постоянными. Подвесим груз к крючку динамометра. Показание динамометра будет таким же.

♦ **Опыт 2.** Один конец нити прикрепим, например, к штативу, а второй – к динамометру (рис. 193). На нити подвесим блок с тем же грузом. Поднимая или опуская груз, мы видим, что вместе с ним движется и блок (поэтому его называли подвижным). Кроме того, показание динамометра стало вдвое меньше, чем вес груза.

**Подвижный блок** – это блок, ось которого поднимается или опускается вместе с грузом. Подвижный блок даёт выигрыш в силе в два раза.

Подвижный блок вы можете увидеть в любом подъёмном кране. Он объединён обоймой с крюком крана (рис. 194).

**Вёрот** – это разновидность рычага. Он предназначен для получения выигрыша в силе.

Вёрот часто используют в сельских колодцах (рис. 195). С его помощью даже ребенок может вытянуть полное ведро воды.

Во многих случаях вместо того, чтобы поднимать груз на некоторую

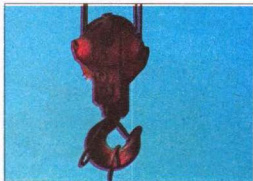


Рис. 194

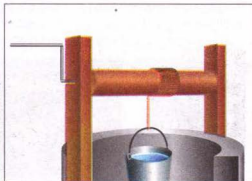


Рис. 195



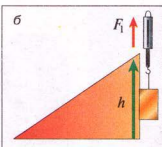
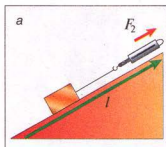


Рис. 196

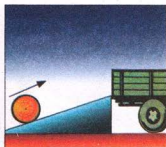


Рис. 197

высоту, его вкатывают или втягивают на ту же высоту с помощью **наклонной плоскости**.

Поднимая груз вдоль наклонной плоскости, получаем выигрыш в силе во столько раз, во сколько длина наклонной плоскости больше её высоты (рис. 196, а, б). Наклонная плоскость (рис. 197) облегчает подъём грузов. Хотя идти по ней приходится дольше, но усилий нужно затрачивать намного меньше, чем при подъёме груза вертикально вверх.

Винтовая лестница (рис. 198) также является наклонной плоскостью, обвивающей ось, подобно резьбе винта. По винтовой лестнице подниматься легче, чем по вертикальной, но приходится преодолевать большее расстояние.

**Винт** (рис. 199), как и винтовая лестница, — также наклонная плоскость. Винты используют для скрепления деталей.

**Клин** — разновидность наклонной плоскости.

Клин является основной частью колющих, режущих, строгальных инструментов: иглы, ножа, ножниц, топора, стамески, рубанка, лемеха плуга.

**Шестерни** (рис. 200) — это зубчатые колёса. Их используют для регулирования скорости вращения. Одна шестерня может вращать соседнюю с большей или меньшей скоростью. Например, шестерня, имеющая 5 зубьев, вращается вдвое быстрее, чем шестерня с 10 зубьями. В этом можно убедиться, наблюдая за работой механического миксера.

Упомянутые устройства изменяют значение силы или её направление и используются для выполнения механической работы.

**Устройства, предназначенные для изменения силы по значению или направлению, называют простыми механизмами.**



Рис. 198



Рис. 199



Рис. 200

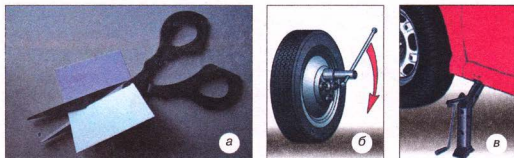


Рис. 201

Без простых механизмов мы не можем обойтись ни одного дня (рис. 201, а, б, в).



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите простые механизмы, которые человек использует в своей деятельности.
2. Что такое рычаг?
3. Чем отличается подвижный блок от неподвижного?
4. Для чего используют наклонную плоскость?
5. Назовите разновидности наклонной плоскости.
6. Какой выигрыш в силе даёт подвижный блок? Наклонная плоскость?

## § 39

### УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА. МОМЕНТ СИЛЫ

Как уже отмечалось, рычаг — твёрдое тело, которое может вращаться около неподвижной опоры. Его применяют для изменения направления и значения силы, например для уравнивания большой силы малой. Рычаг имеет следующие характеристики (рис. 202).

**Точка приложения силы** — это точка, в которой на рычаг действует другое тело.

**Ось вращения** — прямая, проходящая через неподвижную точку опоры рычага  $O$ , и вокруг которой он может свободно вращаться. Рассмотрим случай, когда ось вращения расположена между точками приложения сил  $F_1$  и  $F_2$ .

**Линия действия силы** — это прямая, вдоль которой направлена сила.

**Плечо силы** — кратчайшее расстояние от оси вращения тела  $O$  до линии действия силы. Плечо силы обозначается буквой  $d$ . Единицей плеча силы в СИ является один метр (1 м).

♦ **Опыт.** Возьмём рычаг, подобный изображённому на рис. 203. На расстоянии 10 см от оси вращения подвесим к нему 6 грузиков, каждый массой по 100 г. Чтобы уравновесить рычаг двумя такими же грузиками, нам придётся их подвесить с другой стороны рычага, но на расстоянии 30 см.

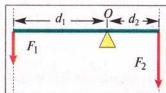


Рис. 202

Следовательно, для того чтобы рычаг находился в равновесии, нужно к длинному плечу приложить силу, во столько раз меньшую, во сколько раз его длина больше длины короткого плеча. Такое **правило рычага** описывают формулой обратной пропорциональной зависимости:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1},$$

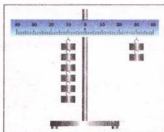


Рис. 203

где  $F_1$  и  $F_2$  — силы, действующие на рычаг;  $d_1$  и  $d_2$  — плечи соответствующих сил. Поэтому правило (условие) равновесия рычага можно сформулировать так.

**Рычаг находится в равновесии тогда, когда значения сил, действующих на него, обратно пропорциональны плечам этих сил.**

С тех пор, когда Архимед установил правило рычага, оно просуществовало в первоначальном виде почти 1900 лет. И лишь в 1687 г. французский учёный П. Вариньон придал ему более общую форму, используя понятие **момента силы**.

**Момент силы  $M$  — это физическая величина, значение которой определяется произведением модуля силы  $F$ , вращающей тело, и ее плеча  $d$ :**

$$M = Fd.$$

Единицей момента силы в СИ является один ньютон-метр ( $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ), равный моменту силы  $1 \text{ Н}$ , приложенной к плечу  $1 \text{ м}$ .

Докажем, что рычаг находится в равновесии под действием двух сил, если значение момента  $M_1$  силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, равно значению момента  $M_2$  силы, вращающей его по часовой стрелке, т.е.:

$$M_1 = M_2.$$

Из правила рычага  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$  на основе свойства пропорции вытекает равенство:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2.$$

Но  $F_1 d_1 = M_1$  — момент силы, вращающей рычаг против часовой стрелки (рис. 202),  $F_2 d_2 = M_2$  — момент силы, вращающей рычаг по часовой стрелке. Таким образом:

$$M_1 = M_2,$$

что и требовалось доказать. Итак, правило (условие) равновесия рычага можно ещё сформулировать так.

**Рычаг находится в равновесии под действием двух сил, если значение момента силы, вращающей рычаг против часовой стрелки, равно значению момента силы, вращающей его по часовой стрелке.**

Момент силы — важная физическая величина, она характеризует действие силы, показывает, что оно зависит и от модуля силы, и от её плеча. Например, мы знаем, что действие силы на дверь зависит и от модуля силы, и от того, где приложена сила: дверь тем легче повернуть, чем дальше от оси вращения приложена сила, действующая на неё; гайку легче открутить длинным гаечным ключом, чем коротким; ведро тем легче вытянуть из колодца, чем длиннее ручка ворота.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Назовите основные характеристики рычага.
2. Что такое плечо силы?
3. Что такое момент силы?
4. От чего зависит момент силы?
5. Сформулируйте правило (условие) равновесия рычага.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

#### ВЫЯСНЕНИЕ УСЛОВИЙ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА

- **Цель работы:** на опытах проверить, при каком соотношении сил и их плечей рычаг находится в равновесии. Проверить правило моментов.
- **Приборы и материалы:** рычаг на штативе, набор грузиков, динамометр, линейка с миллиметровыми делениями

#### Ход работы

1. Уравновесьте рычаг, вращая гайки на его концах так, чтобы он разместился горизонтально (рис. 204)
2. Подвесьте два грузика к левой части рычага на расстоянии 10 см от оси вращения. На опыте установите, на каком расстоянии справа от оси вращения нужно подвесить 1) один грузик; 2) два грузика; 3) три грузика; 4) четыре грузика.
3. Считая, что каждый грузик весит 1 Н, запишите данные и результаты измерений в таблицу (с. 151).
4. Рассчитайте отношение сил и отношение плечей для каждого опыта. Сделайте выводы.

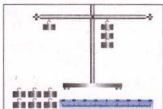


Рис. 204

№ опыта	$F_1$ , Н	$d_1$ , м	$F_2$ , Н	$d_2$ , м	$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{d_2}{d_1}$
1						
2						
3						
4						

5. Проверьте правило моментов сил. Сделайте выводы.
6. Подвесьте три грузика справа от оси вращения рычага на расстоянии 6 см. С помощью динамометра определите силу, которую нужно приложить на расстоянии 15 см от оси вращения справа от грузиков, чтобы рычаг находился в равновесии. Как направлены в этом случае силы, действующие на рычаг? Покажите на рисунке. Рассчитайте отношение значений сил и плечей для этого случая и сделайте выводы.

### § 40 «ЗОЛОТОЕ ПРАВИЛО» МЕХАНИКИ

Рассмотренные нами простые механизмы применяют при выполнении работы в тех случаях, когда нужно меньшей силой уравновесить большую. Тогда перед нами встаёт вопрос: *Простые механизмы дают выигрыш в силе, а дают ли они выигрыш в работе?*

Уравновесим рычаг, приложив к нему две разные по значению силы  $F_1$  и  $F_2$ . Приведём рычаг в движение. При этом окажется, что за одно и то же время точка приложения меньшей силы  $F_2$  проходит больший путь  $l_2$ , а точка приложения большей силы  $F_1$  — меньший путь  $l_1$ . Измерив эти пути  $l_2$  и  $l_1$  и сравнив их с плечами сил  $d_2$  и  $d_1$ , убеждаемся, что отношение путей равно отношению соответствующих плечей (рис. 205), т. е.  $\frac{d_2}{d_1} = \frac{l_2}{l_1}$ . Видим, что

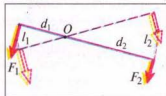


Рис. 205

теперь в правиле рычага можно заменить отношение плечей сил на отношение путей точек приложения сил, тогда получим:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ . Из свойства пропорции вытекает:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

По определению механической работы:  $F_1 l_1 = A_1$ , а  $F_2 l_2 = A_2$ , т. е.  $A_1 = A_2$ , отсюда делаем следующий вывод.

**Рычаг выигрыша в работе не даёт.**

Это касается и других простых механизмов.

**Ни один из простых механизмов не даёт выигрыша в работе: во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии.**

Это правило назвали «золотым правилом» механики.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Дают ли простые механизмы выигрыш в силе? В работе?
2. Объясните, в чём заключается «золотое правило» механики.



## КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) МЕХАНИЗМОВ

Во время действия машин и механизмов всегда кроме необходимой работы приходится выполнять дополнительную работу на преодоление трения в подвижных частях, а также на перемещение этих частей. Например, применяя подвижный блок, приходится дополнительно выполнять работу, чтобы поднять сам блок, верёвку и преодолеть силу трения в оси блока. Поэтому полная работа, выполняемая приложенной силой, всегда больше полезной работы.

Какой бы механизм мы не взяли, полезная работа, выполненная с его помощью, всегда представляет лишь часть полной работы.

**Отношение полезной работы к полной (затраченной) работе называют коэффициентом полезного действия (КПД) механизма.**

Определим, например, КПД наклонной плоскости, применив «золотое правило» механики (рис. 196).

Работа, выполняемая во время подъёма тела вверх по вертикали, определяется произведением силы тяжести  $F_1$ , действующей на тело, и высоты наклонной плоскости  $h$ :  $A_1 = F_1 h$ .

На ту же высоту  $h$  можно поднять тело, равномерно перемещая его вдоль наклонной плоскости длиной  $l$ , прикладывая к телу силу  $F_2$ . Выполненная при этом работа определяется по формуле:  $A_2 = F_2 l$ .

Согласно «золотому правилу» механики, если нет трения, обе рассмотренные выше работы равны:  $A_1 = A_2$ , или  $F_1 h = F_2 l$ .

При наличии трения работа  $A_2$  всегда больше работы  $A_1$ :  $A_2 > A_1$ .

$A_2$  равна полной работе,  $A_1$  — полезной работе. КПД обозначают греческой буквой  $\eta$  (эта) и выражают в процентах (%). Отношение полезной работы к полной работе определяет КПД наклонной плоскости:

$$\eta = \frac{A_1}{A_2} 100\%$$



Так же рассчитывают КПД любых машин и механизмов.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое коэффициент полезного действия механизма?
2. Расскажите, как определяют коэффициент полезного действия механизма.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ КПД НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ

- **Цель работы:** убедиться на опытах в том, что полезная работа, выполненная с помощью наклонной плоскости, меньше полной и определить коэффициент полезного действия наклонной плоскости.
- **Приборы и материалы:** доска, штатив с муфтой и лапкой, деревянный брусок, мера портняжная (рулетка) или линейка с миллиметровыми делениями.

#### Ход работы

1. Установите доску наклонно, как показано на рисунке 206.
2. Измерьте высоту  $h$  и длину  $l$  наклонной плоскости. Результаты измерений занесите в таблицу.

№ опыта	$h$ , м	$F_1$ , Н	$A_1 = F_1 h$ , Дж	$l$ , м	$F_2$ , Н	$A_2 = F_2 l$ , Дж	$\eta = \frac{A_1}{A_2} 100\%$
1							
2							
3							

3. Динамометром измерьте силу тяжести  $F_1$ , действующую на брусок.
4. По формуле  $A_1 = F_1 h$  рассчитайте полезную работу.
5. Зацепив брусок динамометром, равномерно перемещайте брусок вверх по наклонной плоскости. Измерьте силу тяги  $F_2$ .
6. Рассчитайте работу, которую нужно выполнить, чтобы поднять брусок на высоту  $h$  по наклонной плоскости длиной  $l$ , используя формулу  $A_2 = F_2 l$ .
7. По формуле  $\eta = \frac{A_1}{A_2} 100\%$  рассчитайте КПД наклонной плоскости. Результаты занесите в таблицу.
8. Воспользовавшись «золотым правилом» механики, определите, какой выигрыш в силе даёт наклонная плоскость, без учёта трения.
9. Измените высоту наклонной плоскости и для неё определите полезную и полную работу, а также КПД наклонной плоскости.



Рис. 206

## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

## Решаем вместе

1. Рассмотрите ножницы для резания листового металла и острогубцы для перерезания проводов (рис. 207). Почему у них ручки намного длиннее, чем лезвия?

Ответ: ручки и лезвия инструментов действуют как плечи рычага. Умеренные усилия руки, приложенные к длинным ручкам, обеспечивают на коротких лезвиях необходимые для резания металла силы.

2. Что покажет динамометр, если рычаг находится в равновесии (рис. 208)? Масса гири равна 3 кг. Массой рычага пренебрегаем.

Ответ: гиря массой 3 кг подвешена на расстоянии 5 делений от оси вращения. Динамометр закреплен на расстоянии 15 делений от оси вращения. Согласно правилу моментов сил:  $M_1 = M_2$ , или  $F_1 d_1 = F_2 d_2$ . Поскольку динамометр действует на плечо, которое втрое длиннее плеча с подвешенной гирей, то он покажет значение силы 10 Н, что втрое меньше веса гири 30 Н.

3. На короткое плечо рычага подвесили груз массой 100 кг. Чтобы поднять его, к длинному плечу приложили силу 250 Н. Груз подняли на высоту 8 см, при этом точка приложения действующей силы опустилась на 40 см. Определите КПД рычага.

Дано:

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F = 250 \text{ Н}$$

$$h_1 = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$$

$$h_2 = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$$\eta - ?$$

Решение

Для определения КПД рычага используем

$$\text{формулу: } \eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_3} \cdot 100 \, \%$$

$$\text{Полезная работа: } A_{\text{п}} = mgh_1.$$

$$\text{Затраченная работа: } A_3 = Fh_2.$$

$$\text{Тогда } \eta = \frac{mgh_1}{Fh_2} \cdot 100 \, \%.$$

Подставив значения величин, получим:

$$\eta = \frac{100 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,08 \text{ м}}{250 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м}} \cdot 100 \, \% = 78 \, \%.$$

Ответ:  $\eta = 78 \, \%$ .

В этом случае также выполняется «золотое правило». Часть полезной работы (22 %) затрачивается на преодоление трения в оси рычага, а также на перемещение самого рычага.

КПД любого механизма всегда меньше 100 %. Создавая механизмы, конструкторы стремятся увеличить их КПД. Для этого они уменьшают трение в осях механизмов и их массу.



Рис. 207

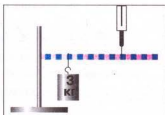


Рис. 208

**Уровень А**

307. Выберите из приведённых примеров тела, которые выполняют работу:  
а) штангист держит над головой штангу; б) домохозяйка держит в руках сумку; в) девочка едет на санках с горы; г) ученик сидит за столом и решает задачу; д) рабочий складывает детали в ящик; е) трактор пашет землю.
308. Мальчик поднял груз на высоту 50 см, приложив силу 60 Н. Какую работу он выполнил?
309. Ящик под действием силы 40 Н переместили на расстояние 120 см. Определите выполненную при этом работу.
310. Вода весом 45 кН подается с помощью насоса на высоту 5 м за 5 мин. Какова мощность насоса?
311. Экскаватор поднимает ковш на высоту 2,5 м за 10 с. Масса ковша вместе с грузом равна 2000 кг. Определите мощность двигателя, которую он развивает при подъёме нагруженного ковша.
312. На сколько увеличится потенциальная энергия тела массой 1 кг, если его подняли на высоту 15 м?
313. Какой вид энергии используется во время торможения электропоездов с помощью сжатого воздуха? Как она накапливается?
314. Потенциальная энергия зависит от массы тела и высоты, на которую оно поднято. Придумайте опыты, которыми это можно подтвердить.
315. Кинетическая энергия зависит от массы тела и скорости его движения. Придумайте опыты, которыми это можно подтвердить.
316. Почему спичку легко разломить посередине и труднее отломать маленький кусок от неё?
317. Почему, разрезая толстую бумагу или картон, размещаем их ближе к оси ножниц (см. рис. 201, а)?
318. Подметая пол, щётку держат двумя руками. Какая рука больше работает?
319. Карандаш или ручка является рычагом. Где размещается точка опоры при писании?
320. Объясните действие весла как рычага (рис. 209).
321. С какой целью все подъёмные краны оборудуют противовесами?
322. Почему легче откручивать (закручивать) гайки ключом (см. рис. 201, б)?
323. Как найти середину бруска, не измеряя его длины?
324. Если, пользуясь неподвижным блоком, мы не имеем выигрыша в силе, то с какой целью его применяют?
325. Какую силу нужно приложить, чтобы с помощью неподвижного блока поднять груз весом 400 Н?
326. Какую силу нужно приложить, чтобы с помощью подвижного блока поднять груз весом 720 Н?
327. Почему легче катить бочку на машину по наклонной доске, а не поднимать её?
328. Почему дорога в горах имеет много поворотов?
329. Рассмотрите винт для металла (саморез) и



Рис. 209

винт для дерева (шуруп). В чём состоит разница между ними?

### Уровень Б

330. Верно ли утверждение: «Выполняя работу, тело (или система тел) переходит из одного состояния энергии в другого»?
331. В каком случае выполняется большая работа: при перемещении тела на расстояние 8 м под действием силы 25 Н или при перемещении тела на расстояние 20 м под действием силы 5 Н?
332. Определите мощность машины, которая поднимает молот массой 200 кг на высоту 0,75 м 120 раз в одну минуту.
333. Парашютист опускается на парашюте. За счёт какой энергии движется парашютист? Какие при этом происходят изменения энергии?
334. Какими способами можно увеличить кинетическую и потенциальную энергии тел?
335. Одинаковую ли потенциальную энергию будут иметь кирпичи, положенные на разные грани?
336. Домом поднимают груз так, что точка опоры проходит как раз посередине лома. Какой выигрыш в силе при этом получим?
337. На рисунке 210 изображена установка, предназначенная для подъёма и опускания грузов. Укажите, какой из блоков подвижен, а какой — неподвижен. Нарисуйте силы, которые действуют на подвижный блок и груз. Какую силу нужно приложить, чтобы поднять груз? Как изменится ответ в задаче, если использовать не один подвижный блок, а два или четыре?



Рис. 210

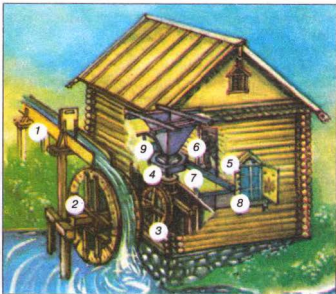


Рис. 211

338. В каких слесарных и столярных инструментах используют свойства клина? Запишите названия этих инструментов и укажите, какая часть инструмента является клином.
339. Рассмотрите руль, педаль и передачу велосипеда (рис. 186). В каком из этих механизмов достигают выигрыш в силе, а в каком — в скорости? Дайте пояснения.
340. Машины объединяют в себе целый ряд простых механизмов. Найдите их в экскаваторе (рис. 184), который применяется для земляных работ.
341. С давних пор человек для своих нужд использовала водяные мельницы (рис. 211: 1 — жёлоб; 2 — водяное колесо; 3 — сухое колесо; 4 — цевковое колесо; 5 — пол; 6 — кожух жерновов; 7 — жернова; 8 — жёлоб для муки; 9 — устройство для дозирования зерна). Какие простые механизмы используются в мельнице? Какие изменения механической энергии происходят при работе мельницы? В чём используется это изменение энергии?
342. Мальчик везёт санки вверх, прикладывая силу 600 Н. Длина горы — 60 м, высота — 12 м, вес санок с грузом — 3600 Н. Определите КПД горы.
343. Высота наклонной плоскости — 1,2 м, а длина — 10,8 м. Чтобы поднять по этой плоскости груз массой 180 кг, нужна сила 250 Н. Определите КПД наклонной плоскости.

## ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

### Из жизни учёных

Одним из величайших механиков мира был знаменитый учёный Архимед (около 287–212 гг. до н. э.). Ещё учась в Александрии (Египет), Архимед применял свои замечательные научные знания для конструирования многих машин. В частности, учёный изобрёл бесконечный винт и водоподъёмную машину, названную архимедовым винтом (рис. 212).

Водоподъёмная машина Архимеда — это цилиндрическая труба длиной 4–6 м, открытая с обеих сторон. По оси трубы размещён вал с винтовой поверхностью. Один конец винта располагали в том месте, куда должна была подниматься вода, второй — опускали в жидкость. При вращении винта вода поднималась вдоль трубы и выливалась из верхнего отверстия. Таким образом, действие винта основано фактически на принципе наклонной плоскости. Винт Архимеда имеет преимущество перед поршневым насосом, поскольку давал возможность осуществлять подъём загрязнённой ветками воды. Этим изобретением Архимеда мы пользуемся и по сей день в обычных кухонных мясорубках.

По возвращении в Грецию знаменитый учёный жил в родном городе Сиракузах на о. Сицилия в Средиземном море. По легенде, Архимед, увлечённый своими исследованиями, однажды заявил царю Сиракуз Гидрону, что мог

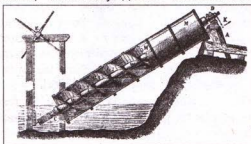


Рис. 212



Рис. 213

бы перевернуть Землю, если бы имел точку опоры. Удивлённый царь предложил Архимеду показать ему, как с помощью малой силы можно поднимать большие грузы. Архимед согласился и приказал вытянуть на берег царскую грузовую триеру, посадить на нее весь экипаж и загрузить корабль. Разместившись на некотором расстоянии, Архимед, двигая рукой блок, соединённый с системой механизмов, стал тянуть корабль к себе так тихо и ровно, словно тот плыл по воде. Поражённый увиденным, царь Гидрон, предложил Архимеду

сконструировать для него военные машины, которые можно было бы использовать для обороны Сиракуз. К тому времени Сиракузы принимали участие во Второй Пунической, или Аннибаловой, войне, где одной воюющей стороной были римляне, а второй – карфагеняне. В эту войну было втянуто много народов Западного Средиземноморья (испанцев, галлов, греков, македонцев). Один из выдающихся полководцев мира – Ганнибал осуществил трудный военный поход из Испании через Альпы в Италию, где ему удалось разгромить три римские армии. В ответ римляне в 213 г. до н. э. начали осаду греческого города Сиракузы.

Без сомнения, Архимеда можно назвать родоначальником и статике. Он впервые предложил теорию рычага и, в частности, сформулировал закон рычага: «Измеренные величины весов находятся в равновесии, если расстояния от точек их приложения до точки опоры обратно пропорциональны этим весам». Работы Архимеда дали возможность создать научную теорию учения о рычагах.

Для защиты родного города Архимед изобрёл ряд военных машин: катапульты, выбрасывающие камни разной величины на большое расстояние; «журавлиные клювы», которые опускались на канатах и захватывали носы вражеских кораблей, раскачивая и поднимая их. Элементами всех этих конструкций были блоки, винты, зубчатые колёса, пружины и водяные двигатели.

Когда римские войска окружили Сиракузы, 75-летний Архимед возглавил оборону родного города. Сконструированные им механизмы поражали воображение современников. Большие потери, понесённые римскими войсками от «железных лап» и метательных машин Архимеда, привели, по словам Плутарха, к тому, что «римляне стали такие боязливыми, что когда замечали, как над стеной движется канат или бревно, то кричали: «Вот, вот оно!» – и, думая, что Архимед хочет направить на них какую-нибудь машину, быстро убегали». Несколько месяцев длилась осада Сиракуз, и только благодаря предателям, открывшим ворота, римляне в конце концов смогли ворваться в город. «Немало примеров мерзкой злости и жадности можно было бы припомнить, – пишет Тит Ливий (I в. до н. э.) об ограблении Сиракуз, – но наиболее значительный из них – убийство Архимеда. Среди дикой сумятицы, под вопли и топот озверевших солдат, Архимед спокойно размышлял, рассматривая начерченные на песке фигуры, и какой-то грабитель заколол его мечом, даже не подозревая, кто это» (рис. 213).



**Контрольные вопросы**

1. В каких случаях можно сказать, что тело обладает энергией?
2. От каких величин зависит потенциальная энергия поднятого над Землёй тела?
3. От каких величин зависит потенциальная энергия упруго-деформированного тела?
4. От каких величин зависит кинетическая энергия тела?
5. Какие изменения энергии происходят при падении воды с плотины?
6. Для каких физических величин в СИ единицей является 1 джоуль?
7. Что такое машина и механизм? Чем они отличаются между собой? Приведите примеры использования простых механизмов на строительной площадке.
8. О чём свидетельствует правило равновесия рычага, или правило моментов сил?
9. В чём проигрывают, пользуясь рычагом, подвижным блоком, наклонной плоскостью, дающими выигрыш в силе?
10. В чём заключается «золотое правило» механики?
11. Почему при применении механизмов для подъёма грузов и преодоления других сопротивлений полезная работа не равна полной (затраченной)?
12. Что такое коэффициент полезного действия (КПД)? Может ли он быть большим единицы?

**Что я знаю и умею делать**

**Я знаю, какие есть единицы физических величин.**

1. Вместо точек вставьте соответствующие значения физических величин:

$$15 \text{ Дж} = \dots \text{ Н} \cdot \text{м}; 145 \text{ Вт} = \dots \text{ кВт}; 1 \text{ кВт} = \dots \frac{\text{Дж}}{\text{с}}; 120 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} = \dots \text{ Вт};$$

$$12 \text{ МВт} = \dots \text{ Вт} = \dots \frac{\text{Дж}}{\text{с}}; 32 \text{ МДж} = \dots \text{ кДж} = \dots \text{ Дж} = \dots \text{ Вт} \cdot \text{с}.$$

**Я умею определять механическую работу, которую выполняет тело, и мощность механизма.**

2. Два мальчика массой 40 кг каждый поднялись на вершину горы высотой 50 м. Один поднимался прямо вверх, а второй шёл вверх по спирали. Кто из мальчиков выполнил большую работу? Рассчитайте её.
3. Вычислите в ваттах мощность сердца спортсмена во время соревнований, зная, что при одном сокращении оно выполняет работу 16 Дж и за одну минуту делает 240 сокращений.
4. Ветряные электростанции являются экологически чистыми и дешёвыми. Мощность ветродвигателя, изображённого на рисунке 214, равна 2 500 000 Вт. Какую работу может выполнить такой двигатель за одни сутки?

**Я знаю, какие есть виды энергии.**

5. За счёт какой энергии идут часы, движется снаряд в стволе пушки, поднимается ракета, течёт вода в реке, вращаются крылья ветряной электростанции?



Рис. 214

**Я умею определять энергию тела.**

6. Пружину жёсткостью  $200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  сжали на 5 см с помощью тела массой 200 г. Какую потенциальную энергию сообщили пружине? Какую наибольшую скорость получит тело, когда пружина распрямится? Какой будет кинетическая энергия этого тела?

**Я знаю, какие есть простые механизмы.**

7. Какие части тел живых организмов можно рассматривать как простые механизмы?

**Я умею определять, какой выигрыш в силе дают простые механизмы.**

8. Определите выигрыш в силе во время использования ножниц.  
 9. Какой выигрыш в силе можно получить с помощью рычага длиной 2 м, если ось вращения расположена на расстоянии 20 см от груза?  
 10. Какой выигрыш в силе можно получить с помощью системы блоков, состоящей из трёх подвижных и трёх неподвижных блоков?

**Я знаю условие равновесия рычага.**

11. К коромыслу весов подвесили два цилиндра одинаковой массы: свинцовый и алюминиевый. Весы находятся в равновесии. Нарушится ли равновесие, если оба цилиндра опустить в воду? В керосин?

**Я умею определять КПД простого механизма.**

12. В нагнетательном водяном насосе ручка под действием силы 15 Н перемещается на расстояние 40 см за один ход поршня. Поршень насоса оказывает сопротивление 50 Н и поднимается на высоту 10 см. Определите КПД насоса.

**Тестовые задания****Вариант I**

1. В каких из перечисленных случаев выполняется механическая работа?  
 А. Стальной шарик катится по горизонтальному столу.  
 Б. Кирпич лежит на Земле.  
 В. Кран поднимает груз.  
 Г. Груз висит на нити.
2. Воздушный поток поднял ястреба массой 400 г на высоту 70 м. Какую работу выполнила сила, поднявшая птицу?  
 А. 280 Дж.  
 Б. 28 Дж.  
 В. 2,8 Дж.  
 Г. 300 Дж.
3. Какую мощность развивает человек, который за 15 с поднимает ведро воды весом 120 Н из колодца глубиной 20 м?  
 А. 160 Вт.  
 Б. 90 Вт.  
 В. 360 Вт.  
 Г. 120 Вт.
4. Какую работу может выполнить двигатель мопеда мощностью 600 Вт за 5 мин?  
 А. 180 кДж.

- Б. 3000 Дж.  
В. 1800 Дж.  
Г. Правильного ответа нет.
5. Какой массы тело подняли на высоту 10 м над Землёй, если его потенциальная энергия равна 1200 Дж?  
А. 120 кг. Б. 1,2 кг. В. 12 кг. Г. 1200 кг.
6. Какую потенциальную энергию сообщили пружине жёсткостью  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , если её растянули на 10 см?  
А. 10 Дж. Б. 1 Дж В. 0,1 Дж. Г. 0,5 Дж.
7. Автомобиль массой 2 т движется со скоростью  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Какова его кинетическая энергия?  
А. 80 кДж. Б. 800 кДж. В. 40 кДж Г. 400 кДж.
8. Какую силу нужно приложить к рычагу длиной 2 м, чтобы поднять камень массой 100 кг, если точка опоры расположена на расстоянии 40 см от камня?  
А. 25 Н. Б. 250 Н. В. 2500 Н. Г. Правильного ответа нет.
9. Какой груз можно поднять, используя подвижный и неподвижный блоки и приложив силу 200 Н?  
А. 20 кг. Б. 200 кг. В. 100 кг. Г. 40 кг.
10. Какой из простых механизмов относится к наклонной плоскости?  
А. Блок. Б. Клин. В. Рычаг. Г. Нет таких.
11. Какую полезную работу нужно выполнить, чтобы поднять на высоту 2 м по наклонной плоскости бочку массой 200 кг?  
А. 200 Дж. Б. 400 Дж. В. 4000 Дж. Г. 40 кДж.
12. Высота наклонной плоскости равна 1 м, а длина – 10 м. Чтобы поднять по этой плоскости груз массой 150 кг, нужна сила 250 Н. Определите КПД наклонной плоскости.  
А. 56 %. Б. 60 %. В. 75 %. Г. Правильного ответа нет.

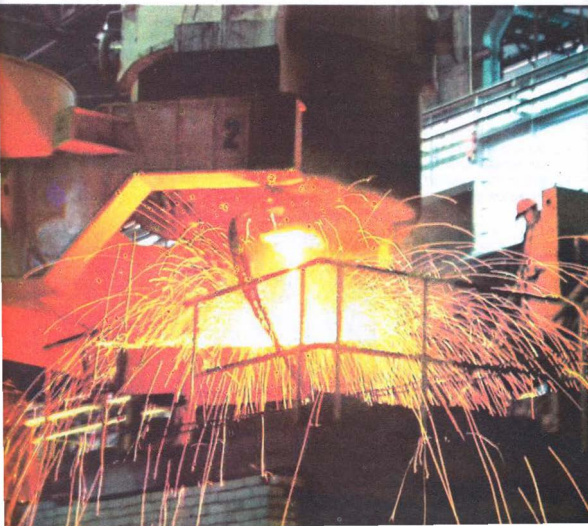
### Вариант II

1. В каких из перечисленных случаев выполняется механическая работа?  
А. Стальной шарик, выпущенный из рук, падает на Землю.  
Б. На столе стоит гири.  
В. По гладкой горизонтальной поверхности стекла катится металлический шарик.  
Г. Человек, стоящий на месте, держит на плечах мешок с сахаром.
2. Рабочий с помощью подвижного блока поднял груз на высоту 1 м, приложив к свободному концу верёвки силу 160 Н. Какую работу он выполнил?  
А. 80 Дж. Б. 160 Дж. В. 240 Дж. Г. 320 Дж.
3. Какую мощность развивает трактор, равномерно двигаясь на первой скорости ( $v = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ), если сила тяги трактора равна 12 кН?  
А. 12 кВт. Б. 43,2 кВт. В. 120 кВт. Г. 1,2 кВт.
4. Какую работу выполняет человеческое сердце мощностью 1 Вт за 10 мин?  
А. 1,6 Дж.  
Б. 0,0016 Дж.  
В. 0,016 Дж.  
Г. Правильного ответа нет.

5. На какую высоту подняли тело массой 2 кг над Землёй, если его потенциальная энергия равна 600 Дж?  
А. 300 м.    Б. 30 м.    В. 3 м.    Г. 3000 м.
6. Пружину жёсткостью  $40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  сжали на 5 см. Какова её потенциальная энергия?  
А. 2 Дж.    Б. 1 Дж.    В. 0,05 Дж.    Г. 0,9 Дж.
7. Трактор массой 10 т движется со скоростью  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Какова его кинетическая энергия?  
А. 250 кДж.    Б. 25 кДж.    В. 12,5 кДж.    Г. 125 кДж.
8. Какую силу нужно приложить к лому длиной 1,2 м, чтобы поднять бетонный блок массой 250 кг, если точка опоры расположена на расстоянии 20 см от блока?  
А. 200 Н.    Б. 2500 Н.    В. 1000 Н.    Г. Правильного ответа нет.
9. Какой груз можно поднять, используя подвижный и два неподвижных блока и приложив силу 100 Н?  
А. 20 кг.    Б. 10 кг.    В. 100 кг.    Г. 40 кг.
10. Какой из простых механизмов относится к рычагу?  
А. Блок.    Б. Клин.    В. Винт.
11. Какую полезную работу нужно выполнить, чтобы поднять на высоту 3 м по наклонной плоскости бревно массой 400 кг?  
А. 1200 Дж.    Б. 12 кДж.    В. 4000 Дж.    Г. 120 кДж.
12. Высота наклонной дороги равна 10 м, а длина – 100 м. Чтобы поднять по этой плоскости автомобиль массой 1 000 кг, нужно приложить силу 2 500 Н. Определите КПД наклонной дороги.  
А. 50 %.    Б. 60 %.    В. 40 %.    Г. Правильного ответа нет.

# КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

- Тепловое состояние тел
- Измерение температуры
- Внутренняя энергия и способы её изменения
- Виды теплообмена
- Количество теплоты
- Удельная теплоёмкость вещества
- Плавление и кристаллизация твёрдых тел
- Удельная теплота плавления
- Испарение и конденсация жидкостей
- Удельная теплота парообразования
- Сгорание топлива
- Удельная теплота сгорания топлива
- Тепловые двигатели
- Закон сохранения энергии в механических и тепловых процессах



## § 42 ТЕПЛОВОЕ ДВИЖЕНИЕ. ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Из уроков физики в 7 классе вы знаете, что тела состоят из молекул. Молекулы находятся в непрерывном хаотическом (беспорядочном) движении и взаимодействуют между собой. Каждая отдельная молекула совершает механическое движение, подобное тому, что мы изучали ранее. Двигаясь с большой скоростью, она сталкивается с другими молекулами и при этом изменяет направление движения. Из рис. 215 видно, что траектория отдельной молекулы — это сложная ломаная линия, но можно определить пройденный молекулой путь и скорость её движения. Наблюдать такое движение, даже вооружённым глазом, невозможно из-за чрезвычайно малых размеров движущихся частиц. Только в специальных сложных опытах можно видеть результат механического движения групп молекул.

Исследование движения молекул методами механики ещё больше усложняется из-за чрезвычайно большого количества двигающихся частиц в обычных телах. Практически невозможно проследить за всеми «участниками» движения: миллиарды миллиардов маленьких частиц движутся с большими скоростями в разных направлениях, сталкиваются друг с другом и со стенками сосуда, изменяют собственные скорости движения (рис. 216). Таким образом, возможности изучения движения молекул средствами механики очень ограничены.

*Как же всё-таки можно исследовать механические характеристики движущихся молекул в телах: оценить скорости молекул, пути, которые они проходят между столкновениями и пр.?*

Оказывается, что результатом беспорядочного механического движения молекул является не только перемещение их в пространстве, но и тепловое состояние тела, степень его нагретости. Чем быстрее движутся молекулы, тем выше температура тела и наоборот: если повышается температура тела, то и увеличивается скорость движения молекул. Поэтому хаотическое

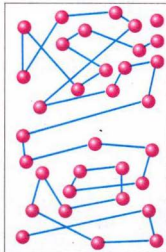


Рис. 215

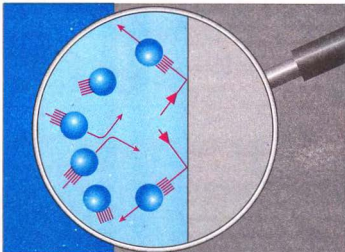


Рис. 216



движение огромного количества молекул изучают методами физики тепловых явлений, а само такое движение называют **тепловым**.

**Тепловое движение** – это беспорядочное движение молекул и атомов, определяющее температуру тела.

В свою очередь, знания о строении вещества и тепловом движении позволяют объяснить различные тепловые явления. Предположим, что в двух сосудах содержатся газообразные молекулы разной массы, например в одной – кислород, а в другой – азот. Опыты свидетельствуют, что при одинаковой температуре средние кинетические энергии молекул обоих веществ одинаковые, а значения средних скоростей молекул оказываются различными.

Таким образом, приходим к выводу, что **температура тела** – это физическая характеристика теплового состояния вещества, из которого состоит тело, степени его нагретости, и она определяется значением средней кинетической энергии хаотического движения частиц вещества.

Несколько столетий назад наукой ещё не была признана теория молекулярного и атомного строения вещества, поэтому представление о температуре тела возникло не в связи с движением молекул и атомов в нём, а из сравнения ощущений тепла или холода, хотя они неточны и часто субъективны. Для объективных измерений температуры во время контакта с исследуемой средой были созданы специальные приборы – **термометры**. Действие термометров основывается на разных физических явлениях, зависящих от температуры: тепловом расширении жидкостей, газов, твёрдых тел, изменении с температурой электрических свойств вещества и др. Чаще всего используют жидкостные термометры, с помощью которых можно измерять температуру в широких пределах.

Опыты свидетельствуют, что при контакте горячего и холодного тел их температуры со временем выравниваются, т. е. горячее тело остывает, а холодное – нагревается. Установление **теплового равновесия** между несколькими телами означает, что их температуры становятся одинаковыми и в дальнейшем уже не будут различаться. С молекулярной точки зрения это означает, что в состоянии теплового равновесия во всех контактирующих телах кинетическая энергия беспорядочного движения частиц вещества одинакова.

Отсюда следует, что при измерении температуры жидкостным термометром нужно соблюдать такие **правила**: поместить колбу термометра в ту среду, температуру которой измеряют; подождать определенное время, пока столбик жидкости в трубке термометра остановится, т. е. пока не установится тепловое равновесие между колбой и средой; не вынимая термометр из среды, определить по шкале значение его температуры.

В 1597 г. Г. Галилей сконструировал прибор – прототип термометра, который назвал термоскопом. **Термоскоп Галилея** (рис. 217) состоял из тонкой стеклянной трубки с небольшой колбой на верхнем конце. Открытый нижний конец трубки опускали в сосуд с водой, которая заполняла и часть трубки. Когда воздух в колбе нагревался или охлаждался, то столбик воды в трубке опускался или поднимался.



Рис. 217

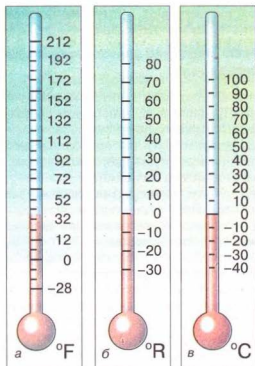


Рис. 218

Поскольку высота столбика зависела как от температуры, так и от атмосферного давления, то измерять температуру термоскопом было невозможно, тем не менее он позволял сравнивать температуры разных тел в одно и то же время и в одном и том же месте. Уже тогда врач и анатом Санкториус из Падуанского университета, не зная о термоскопе Галилея, сконструировал собственный подобный термометр и применял его для измерения температуры тела человека.

Первый современный термометр (рис. 218, а) был описан в 1724 г. **Габриэлем Фаренгейтом**, стеклодувом из Голландии.

Современников учёного удивляло, что показания разных спиртовых термометров, изготовленных Фаренгейтом, согласовывались между собой. Секрет Фаренгейта состоял в том, что он тщательно наносил деления на шкалу, используя для

этого несколько опорных точек. За  $0^{\circ}\text{F}$  — первую фиксированную точку — Фаренгейт принял температуру плавления смеси льда, воды и нашатыря (аммоний хлорида  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Вторую точку —  $32^{\circ}\text{F}$  — он получил, погружая термометр в смесь воды и льда. Свою шкалу Фаренгейт проверял, измеряя нормальную температуру тела человека. Новая точка приходилась на  $96^{\circ}\text{F}$ . Позднее он ввёл ещё и четвёртую опорную точку — точку кипения воды при нормальных условиях. Ей соответствовала метка  $212^{\circ}\text{F}$ . Разные термометры Фаренгейта можно было сверять друг с другом, сравнивая их показания в разных постоянных точках шкалы. Поэтому они прославились своей точностью. Шкалой Фаренгейта до сих пор пользуются в Англии и в США.

Во Франции в практику вошла **шкала Реомюра** (рис. 218, б) (около 1740 г.), построенная на точках замерзания воды ( $0^{\circ}\text{R}$ ) и её кипения ( $80^{\circ}\text{R}$ ). Г. Реомюр на основании измерений вывел, что вода расширяется между этими двумя точками на 80 тысячных долей своего объёма (правильное значение 0,084). Спиртовые термометры Реомюра со временем были заменены **ртутными термометрами Делюка** (1740 г.), поскольку коэффициент расширения ртути в меньшей степени изменялся с температурой по сравнению со спиртом.

Современная температурная шкала (рис. 218, в) была предложена в 1742 г. шведским физиком А. Цельсием (1701–1744), который в своих ртутных термометрах ввёл 100-градусную шкалу. Ему не нравились отрицательные значения температур, и он счёл нужным перевернуть старую шкалу и

поместить  $0^{\circ}\text{C}$  в точку кипения воды, а  $100^{\circ}\text{C}$  — в точку её замерзания. Но «перевернутая» шкала не приобрела популярности и в скором времени по предложению шведского натуралиста К. Линнея возвратились к обычному размещению опорных температур.

К началу XIX в. термометр становится обычным физическим прибором. Принято, что единица температуры  $1^{\circ}\text{C}$  (один градус Цельсия) — это одна сотая часть интервала между температурами плавления льда и кипения дистиллированной воды при нормальном атмосферном давлении (101 325 Па).

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- На Земле есть много жарких и холодных мест. В Долине смерти (Калифорния, США) зафиксирована жара  $+56,7^{\circ}\text{C}$ , но рекорд принадлежит пустыне Сахара (Африка) —  $+63^{\circ}\text{C}$  в тени. Самыми холодными местами в Северном полушарии являются Якутия и Гренландия, где температура достигает  $-70^{\circ}\text{C}$ . Но самое холодное место на нашей планете — это Антарктида. В её глубинных районах зафиксирована температура  $-94,5^{\circ}\text{C}$ . На таком морозе металл становится хрупким, керосин превращается в густую желеобразную массу и не воспламеняется даже при контакте с пламенем.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какое движение называют тепловым?
2. Чем тепловое движение отличается от механического?
3. Что такое тепловое равновесие?
4. Назовите авторов разных конструкций термометров.
5. Сформулируйте правила измерения температуры среды термометром?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

### ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАЗНЫМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

- **Цель работы:** ознакомиться со строением жидкостного и биметаллического термометров, научиться измерять температуру среды с помощью этих термометров.
- **Приборы и материалы:** жидкостный термометр, биметаллический термометр, сосуд с водой.

#### Ход работы

1. Ознакомьтесь со строением жидкостного термометра.

Любой жидкостный термометр (рис. 219) состоит из таких частей:  
1 — резервуар, в котором содержится жидкость (ртуть, спирт);  
2 — стеклянная трубка со шкалой и капиллярной трубкой;

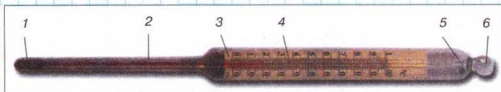


Рис. 219

3 — шкала термометра;

4 — капиллярная трубка, в которой жидкость расширяется при повышении температуры и сжимается при её снижении;

5 — предохранительный резервуар, чтобы термометр не вышел из строя при излишнем расширении жидкости;

6 — кольцо или стеклянная головка для подвешивания термометра (имеется только в термометрах определённых типов).

2. Определите цену деления шкалы термометра.

*Цена деления шкалы соответствует ... °C.*

3. Укажите пределы измерения термометра.

*Термометром можно измерить температуру от ... до ... °C*

4. Какую температуру показывает термометр?

*Термометр показывает ... °C.*

5. Измерьте температуру воды в сосуде.

*Температура воды в сосуде равна ... °C.*

6. Ознакомьтесь с устройством биметаллического термометра (рис. 220).

Биметаллический термометр состоит из биметаллической спирали, один конец которой прикреплён к корпусу термометра, а второй — к стрелке, указывающей на шкале термометра значения температуры окружающей среды. Когда температура среды изменяется, биметаллическая пластинка сгибается или разгибается, что приводит стрелку в движение. Биметаллические термометры менее точны, чем жидкостные.



Рис. 220

7. Определите цену деления шкалы биметаллического термометра.

*Цена деления шкалы равна ... °C.*

8. Каковы пределы измерений биметаллического термометра?

*Термометром можно измерять температуру от ... до ... °C.*

9. Какую температуру показывает термометр?

*Термометр показывает ... °C.*

## § 43 ВНУТРЕННЯЯ ЭНЕРГИЯ И СПОСОБЫ ЕЁ ИЗМЕНЕНИЯ. ТЕПЛООБМЕН

Тает снег, плавятся металлы, испаряется вода, нагревается жидкость в сосуде — всё это тепловые явления. При тепловых явлениях изменяются температура и состояние тела: лёд превращается в воду, вода — в пар и наоборот. Чтобы расплавить олово, нужно сначала его нагреть до температуры плавления, а потом плавить, непрерывно сообщая ему энергию. *А какие физические величины характеризуют тепловое состояние вещества и дают возможность объяснять тепловые явления?*

Вам уже известны понятия механической энергии, виды механической энергии — потенциальная и кинетическая. Сжатая или растянутая пружина обладает потенциальной энергией, каждое движущееся тело обладает кинетической энергией. Вы также знаете, что потенциальная и кинетическая энергии тела могут изменяться, что при их изменении выполняется механическая работа.

♦ **Опыт.** Поднимем пластилиновый шар над столом и отпустим его. Под действием силы тяжести шар упадёт на стол и прилипнет к нему.

Проанализируем, как изменялась механическая энергия шара при этом. Шар, поднятый над столом, имел потенциальную энергию, его кинетическая энергия равнялась нулю, так как он был неподвижен (рис. 221, а). Когда шар отпустили, то во время падения его потенциальная энергия уменьшалась, так как уменьшалась высота шара над столом, а кинетическая энергия увеличивалась, так как увеличивалась скорость движения шара. Перед касанием шара поверхности стола его потенциальная энергия относительно него равнялась нулю, а значение кинетической энергии — значению потенциальной энергии шара до начала падения (рис. 221, б). Когда шар упал на стол, то он остановился, т. е. его кинетическая энергия также стала равной нулю. Значит, механическая энергия шара относительно стола в этом положении равна нулю.

*Куда же «исчезла» механическая энергия шара?*

Можно предположить, что такое «исчезновение» механической энергии связано с какими-то другими, отличными от механического движения, изменениями в состоянии тел. Действительно, если с помощью очень чувствительного термометра измерить температуры шара и поверхности стола до падения шара и после него, то окажется, что их температуры повысились. Следовательно, произошли изменения в тепловом состоянии тел при взаимодействии — увеличилась средняя скорость их молекул.

Изменение энергии теплового движения молекул тела произошло за счёт изменения кинетической энергии их движения вследствие изменения средней скорости молекул и изменения потенциальной энергии их взаимодействия из-за деформации шара.



Рис. 221

**Энергию движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело, называют внутренней энергией тела.**

Итак, в процессе удара шара об стол произошёл переход механической энергии шара во внутреннюю энергию.

Внутренняя энергия тела зависит от его температуры. Повышается температура тела — увеличивается его внутренняя энергия и наоборот.

Внутренняя энергия тела не зависит ни от механического движения тела, ни от положения этого тела относительно других тел.

Итак, внутренняя энергия тела, в частности, связана со скоростью движения его частиц. Она изменяется, если изменяется средняя скорость движения частиц, из которых состоит тело. *А каким образом можно увеличить или уменьшить эту скорость, т.е. изменить внутреннюю энергию тела?*

• **Наблюдение 1.** Вам, наверное, приходилось накачивать насосом велосипедную шину или мяч (рис. 222, а, б), и вы наблюдали, что насос при этом нагревался. Увеличение внутренней энергии воздуха и насоса произошло за счёт выполнения работы силой, сжимающей воздух.

Если вы согнёте и разогнёте несколько раз проволоку из мягкого металла (рис. 223), то обнаружите, что место сгиба нагрелось.

Если вы ударите несколько раз молотком по куску свинца (рис. 224), то он также нагреется.

Когда у вас на морозе мёрзнут руки, то вы их согреваете, потирая одну об другую. Во всех случаях внутренняя энергия тел увеличивается за счёт выполнения работы над ними.

**Внутреннюю энергию тела можно увеличить, выполняя над ним работу.**

♦ **Опыт.** В толстостенном стеклянном сосуде, плотно закрытом пробкой, содержится водяной пар. Через специальное отверстие будем накачивать в него воздух. Спустя некоторое время пробка выскочит из сосуда (рис. 225). В тот момент, когда пробка выскакивает, в сосуде

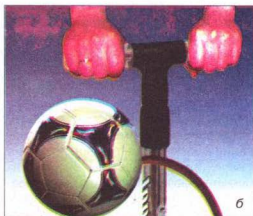


Рис. 222



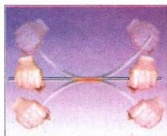


Рис. 223

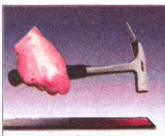


Рис. 224

возникает туман (водяной пар превратился в жидкость), появление которого означает, что воздух в сосуде стал холоднее. Следовательно, внутренняя энергия воздуха в сосуде уменьшилась. Объясняется это тем, что сжатый воздух, выталкивая пробку, выполнил работу.

**Если работу выполняет само тело, то его внутренняя энергия уменьшается.**



Рис. 225

Внутреннюю энергию тела можно изменить и другим способом, без выполнения работы.

• **Наблюдение 2.** Кастрюля с водой, стоящая на горячей плите (рис. 226); металлическая ложка, помещённая в стакан с горячей водой; батарея водяного отопления, по которой проходит горячая вода; камин, в котором горит огонь (рис. 227); Земля, которую освещает Солнце (рис. 228), — все они нагреваются.

Во всех приведённых примерах температура тел повышается. Значит, их внутренняя энергия увеличивается.

Можно наблюдать и охлаждение тел, когда, например, горячую ложку помещают в холодную воду, закипевший чайник снимают с плиты.

В приведённых примерах происходило изменение внутренней энергии тел, но механическая работа при этом не выполнялась. Такой процесс изменения внутренней энергии тел называют **теплообменом**, или **теплопередачей**.



Рис. 226



Рис. 227



Рис. 228

**Теплообмен** – это процесс передачи внутренней энергии от нагретого тела к холодному без выполнения ими или над ними механической работы.

Каким образом происходит теплообмен при контакте холодной ложки с горячей водой? Вначале средняя скорость и кинетическая энергия молекул горячей воды превышают среднюю скорость и кинетическую энергию атомов металла, из которого изготовлена ложка. Но в местах касания ложки с водой при столкновениях быстрые молекулы воды передают часть своей кинетической энергии атомам металла, и они начинают двигаться быстрее. Кинетическая энергия молекул воды при этом уменьшается, а кинетическая энергия атомов металла возрастает. Вместе с энергией изменяется и температура: вода постепенно охлаждается, а ложка – нагревается. Этот процесс будет длиться до тех пор, пока температуры воды и ложки не станут одинаковыми.

**Внутреннюю энергию тела можно изменить путём выполнения работы или теплообмена.**



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Какие виды механической энергии вы знаете?
2. Какую энергию называют внутренней энергией тела?
3. От чего зависит внутренняя энергия тела?
4. Как можно изменить внутреннюю энергию тела?
5. Что такое теплообмен?
6. Приведите примеры изменения внутренней энергии тела путём выполнения работы и путём теплообмена.



## § 44 ВИДЫ ТЕПЛООБМЕНА

Теплообмен может осуществляться разными способами.

• **Наблюдение 1.** Если прикоснуться к предметам, изготовленным из металла и дерева, то металлические предметы кажутся холоднее деревянных, хотя их температура одинакова, например комнатная. Мы в этом случае ощущаем прохладу, так как металлические предметы лучше проводят тепло и быстрее отбирают его от руки, т. е. у них высокая **теплопроводность**.

• **Наблюдение 2.** Радиаторы водяного отопления размещают под окном у пола. От них внизу холодный воздух нагревается и поднимается вверх. Держа руку над зажжённой свечкой, вы ощутите, как от её пламени вверх поднимаются тёплые потоки воздуха. Видим, что теплообмен может происходить за счёт перенесения масс газа или жидкости. Такой процесс передачи тепла называют **конвекцией** (от латинского *конвекцио* – перенесение).

• **Наблюдение 3.** Жизнь на Земле может существовать потому, что планета имеет пригодную для этого температуру за счёт тепла, получаемого со светом от Солнца. Земля и Солнце расположены на большом расстоянии (150 млн километров), в пространстве между ними нет воздуха. В этом случае передача тепла происходит за счёт ещё одного вида теплообмена – **излучения**.

♦ **Опыт 1.** К медному стержню парафином или воском приклеим несколько спичек (рис. 229). Один конец стержня будем нагревать в пламени спиртовки или газовой горелки. Во время нагревания парафин начнёт плавиться, и спички будут отпадать от стержня. Сначала отпадут те спички, которые размещены ближе к пламени, а потом поочерёдно — остальные.

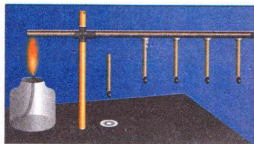


Рис. 229

**Передачу тепла от более нагретой части тела к менее нагретой вследствие теплового движения частиц тела называют теплопроводностью. При этом происходит передача энергии, а переноса вещества нет.**

♦ **Опыт 2.** В сосуд, в котором нагревается вода, поставим алюминиевый, деревянный, пластмассовый и стеклянный стержни (рис. 230). Положим сверху на них парафиновые шарики. Сначала расплавится шарик на алюминиевом стержне, потом — на стеклянном. На деревянном и пластмассовом стержнях парафин не расплавится.

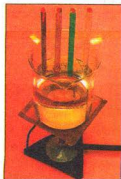


Рис. 230

**Различные вещества имеют разную теплопроводность.**

При комнатной температуре теплопроводность различных тел разная (табл. 6).

Таблица 6

**Теплопроводность некоторых веществ по сравнению с теплопроводностью стекла**

Название вещества	Относительная теплопроводность	Название вещества	Относительная теплопроводность
Медь	330	Вода	0,5
Алюминий	270	Гипс	0,4
Латунь	105	Бетон	0,23
Железо	60	Дерево	0,2 — 0,1
Нержавеющая сталь	15	Пенобетон	0,043
Известняк	1,5	Пенополистирол	0,036
Стекло	1,0	Пробка	0,036
Кирпич сплошной	0,6	Стекловата	0,035
Кирпич пустотелый	0,5	Сухой воздух	0,022

Хорошими проводниками тепла являются металлы, особенно серебро, золото, медь. Плохими проводниками тепла является вода, кирпич, бетон, лёд. Например, теплопроводность бетона в 210 раз ниже теплопроводности алюминия. Пробка, пенопласт, воздух имеют очень низкую теплопроводность. Такие вещества называют **теплоизоляторами**.

Шерсть, пух содержат воздух, и поэтому имеют низкую теплопроводность. Они защищают тело животных от охлаждения или перегрева.

Для достаточной теплоизоляции здания его стены из бетона имеют толщину 30 см. Для обеспечения такой же теплоизоляции стены из алюминия имели бы толщину 63 м, а стены из пробки – 1,2 см.

♦ **Опыт 3.** Если нагревать воду в верхней части пробирки (рис. 231), то она в этом месте закипит, а внизу даже могут оставаться кусочки льда. Это свидетельствует о том, что вода – плохой проводник тепла. Если же нагревать сосуд с водой снизу, то вся вода прогреется и закипит (рис. 232), так как будет происходить перемещение верхних холодных и нижних нагретых слоёв воды. Такое перемещение жидкости называют **конвекцией**

♦ **Конвекция** – процесс переноса энергии струями жидкости или газа.

♦ **Опыт 4.** Зажжём свечу, разместим над пламенем вырезанную из бумаги «змейку» (рис. 233). Воздух возле пламени свечи будет нагреваться и расширяться. Плотность расширившегося воздуха меньше плотности холодного, поэтому слой тёплого воздуха поднимается вверх. Его место сразу занимает соседний слой холодного воздуха, он нагревается и в свою очередь начинает двигаться вверх и т. д.



Рис. 231

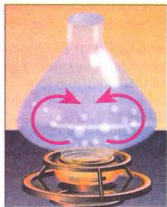


Рис. 232



Рис. 233

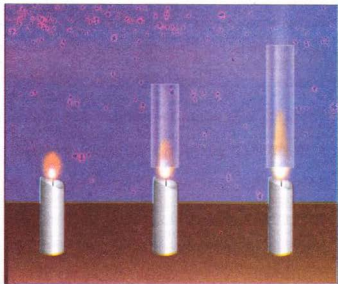


Рис. 234

Под действием струй нагретого воздуха бумажная «змейка» вращается.

**Явлением конвекции можно объяснить возникновение ветров в природе.**

• **Наблюдение 4.** Зажжём свечу. Когда над ней разместим сначала низкий, а потом — более высокий стеклянный цилиндр, открытый с обеих сторон (рис. 234), то заметим, что пламя свечи будет удлиняться. Такой цилиндр — это маленькая дымовая труба, создающая воздушную тягу. Чем выше труба, тем лучше тяга.

В современных домах устанавливают водяное отопление. Вода, нагретая в котле (рис. 235), поднимается по трубам вверх и отдаёт тепло радиаторам отопления. Вследствие конвекции нагревается воздух в помещении, при этом охлаждаются радиаторы и вода в них. Охлаждённая вода опускается вниз к котлу, где снова нагревается. Чтобы вся вода, имеющаяся в системе водяного отопления, нагревалась, котлы или другие нагревательные установки размещают в доме как можно ниже.

• **Наблюдение 5.** Сидя возле костра, мы ощущаем от него тепло. Следовательно, происходит теплопередача, но не вследствие теплопроводности, так как воздух между пламенем костра и нами — это теплоизолятор. Конвекцией в этом случае теплообмен тоже объяснить нельзя, так как мы находимся не над костром, а рядом с ним, и потоки холодного воздуха идут к костру с нашей стороны. Здесь имеем дело ещё с одним видом теплопередачи, который называют **излучением**, о нём мы уже упоминали, когда обсуждали нагревание Земли светом от Солнца (сквозь безвоздушное пространство). Отсюда вытекает, что для теплопередачи с помощью излучения не нужно никакой промежуточной среды между телом и нагревателем.

♦ **Опыт 5.** Возьмём теплоприёмник — круглую коробочку, одна сторона которой зеркальная, а вторая — покрыта чёрной краской (рис. 236), соединим его с помощью резиновой трубки с манометром. Разместим на некотором расстоянии от теплоприёмника включённую электроплитку. Вскоре манометр покажет, что давление воздуха в коробочке тепло-

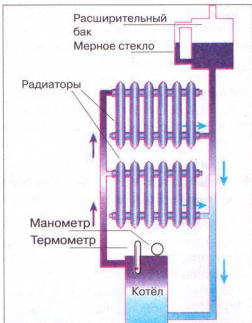


Рис. 235

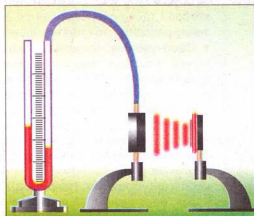


Рис. 236

приёмника увеличился за счёт его нагревания от стенки коробочки, температура которой повысилась вследствие теплообмена с электроплиткой. Люди и все окружающие тела при любой температуре являются источниками теплового излучения, которое по своей природе и свойствам подобно свету и радиоволнам. Чем выше температура тела, тем интенсивнее тепловое излучение от него. Мы не видим его, но воспринимаем кожей как жар, идущий от источника. В нашем опыте раскалённая электроплитка и была мощным источником тепловых лучей, воспринимаемых теплоприёмником.

**Излучение – это вид теплопередачи, который может происходить без промежуточной среды между телами и обусловлен испусканием и поглощением ими теплового излучения.**

Все тела не только испускают, но и поглощают тепловые лучи. Чтобы исследовать, как влияют свойства тела на его способность поглощать тепловое излучение, повторим наш опыт дважды: сначала повернём теплоприёмник к электроплитке блестящей поверхностью, а потом – тёмной.

Опыты, подобные нашим, показали, что тела с тёмной поверхностью лучше излучают и поглощают тепловые лучи. Тела, со светлой и блестящей поверхностью, излучают и поглощают энергию хуже чем с тёмной. Теперь можно ответить на вопрос, для чего одни предметы красят тёмными красками, а другие – делают блестящими. Например, чайник с блестящей поверхностью дольше сохраняет воду тёплой, так как такая поверхность меньше излучает тепла, чем тёмная. Вагоны-холодильники красят в светлый цвет, чтобы они не нагревались на солнце. Летом мы чаще носим светлую одежду, а зимой – тёмную.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Средняя температура тела человека  $36,6^{\circ}\text{C}$  поддерживается организмом в разнообразных условиях жизни и деятельности. В тканях и органах его тела непрерывно происходят процессы окисления, которые сопровождаются выделением тепла. Большая часть энергии, получаемой в результате усвоения пищи, затрачивается на механическую работу, выполнение которой также сопровождается выделением тепла в организме. Всё это тепло рассеивается телом человека в окружающую среду.
- Самочувствие человека в значительной мере зависит от количества тепла, которое теряет организм. В зависимости от назначения помещения, вида выполняемой работы и влажности воздуха нормальной для человека может быть температура окружающей среды от  $11$  до  $23^{\circ}\text{C}$ . Низкие температуры ускоряют процессы выделения теплоты в организме. повышение температуры вызывает усиление потовыделения, которое является средством регулирования температуры организма. Однако организм человека способен поддерживать собственную температуру постоянной только при изменении температуры окружающей среды в небольших пределах. Например, для человека, находящегося в состоянии покоя, во влажном воздухе температура тела начинает повышаться при температуре воздуха выше  $30^{\circ}\text{C}$ , а в сухом – выше  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Особенно чувствителен организм человека к интенсивности излучения.



Отрицательно влияет на него излучение горячих предметов. Большое влияние на самочувствие человека оказывает температура поверхностей помещений, с которыми тело человека обменивается теплом вследствие излучения. Изменение температуры стен от 20 до 10 °C сопровождается увеличением излучения тела человека на 30 %.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое теплопроводность?
2. Что такое конвекция?
3. Что такое излучение?
4. Назовите, какие явления природы объясняются конвекцией.
5. Какую роль играет излучение в жизни человека?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### ➤ Решаем вместе

1. В каком состоянии внутренняя энергия 1 кг воды больше: в твёрдом, жидком или газообразном?

Ответ: внутренняя энергия 1 кг воды в газообразном состоянии больше, чем в жидком, а в твёрдом — меньше, чем в жидком состоянии.

2. Как объяснить, что пожарный в специальной одежде спокойно стоит в огне и не ощущает его (рис. 237)?

Ответ: ткань спецодежды изготовлена из материалов, обладающих очень низкой теплопроводностью.

Кроме того, спецодежда имеет серебристый цвет и отражает тепловые лучи.

3. Объясните, почему птицы с большими крыльями (орлы, коршуны) могут держаться на одной высоте, не делая взмахов крыльями.

Ответ: за счёт восходящих потоков воздуха, т. е. конвекции.



Рис. 237

#### Уровень А

344. Холодная и горячая вода состоит из одинаковых молекул. Одинакова ли внутренняя энергия холодной и горячей воды одинаковой массы? Почему?
345. Изменилась ли внутренняя энергия чайной чашки, если её переставили со стола на полку серванта?
346. При обработке материалов инструменты станков (резцы, свёрла, фрезы) сильно нагреваются. Почему?
347. Почему, выполняя упражнения на канате, не следует быстро опускаться, обхватив его руками?
348. Объясните такие факты: а) мука, которая сыпется из-под камня в мельнице, горячая; б) шариковые подшипники машин нагреваются во время работы меньше, чем подшипники скольжения.

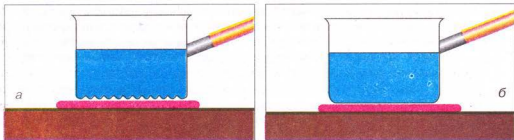


Рис. 238

349. При осмотре космического корабля после его возвращения на Землю оказалось, что более всего оплавилась и обгорела поверхность той стороны, которой корабль вошёл в земную атмосферу. Дайте пояснение.
350. Почему, когда варят варенье, то стараются пользоваться деревянной ложкой, а не металлической?
351. С какой целью между дымовой трубой и досками потолка кладут слой асбеста?
352. Кирпич кажется на ощупь теплее мрамора при одинаковой температуре. Какой материал имеет лучшие теплоизоляционные свойства?
353. В котором из сосудов быстрее нагреется вода (рис. 238, а, б)?
354. С какой целью в окна вставляют двойное или тройное стекло (рис. 239)?
355. Почему в холодильных камерах мясокombинатов или молокозаводов трубы с охлаждающей жидкостью размещают вверх под потолком?
356. Почему в погребе прохладно даже в жару?
357. С какой целью в стенах помещений делают вертикальные трубы-колодцы, соединённые отверстиями с комнатами? Где размещаются эти отверстия?
358. Почему холодильные установки, вагоны-холодильники красят в светлый цвет?
359. В каком платье летом менее жарко: в белом или тёмном? Объясните, почему.
360. Почему испортился медицинский термометр, оставленный по недосмотру на подоконике в солнечный день?
361. Летом воздух в дома нагревается за счёт тепла, которое поступает сквозь стены, открытые окна и стекло, которое пропускает солнечные лучи. О каких видах теплообмена речь идёт в каждом случае?

### Уровень Б

362. Почему плохо разведённая пила нагревается больше, чем с нормальным разводом зубов?
363. После разрезания слесарной ножовкой металлической детали наблюдается нагревание детали и полотна ножовки. Вследствие чего произошли такие изменения?

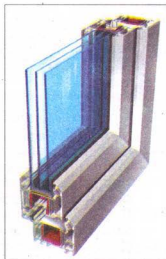


Рис. 239

364. Выполните такой опыт: возьмите мягкую железную или медную проволоку диаметром 3—4 мм, перегните её несколько раз в одном и том же месте и коснитесь этого места рукой. Что ощутите? Почему произошло это изменение с проволокой?
365. Кусок свинца можно нагреть разными способами: ударяя по нему молотком, внося его в пламя горелки или погрузив в горячую воду. Можно ли утверждать, что во всех этих случаях кусок свинца получил определённое количество теплоты; что увеличилась его внутренняя энергия?
366. Спичка вспыхивает, если её потереть о коробку. Она также вспыхивает, если её внести в пламя свечи. В чём сходство и различие в причинах, вызывающих вспышку спички в этих случаях?
367. Почему покрышки автомобильных колес изготавливают из резины, которая не размягчается и не теряет прочности даже при температурах 100 °C и выше?
368. Как можно согреть замёрзшие руки, не используя нагретых предметов или тёплых перчаток?
369. Воду некоторой массы в одном случае нагрели на 35 °C, а во втором — охладили на 10 °C. Увеличилась или уменьшилась внутренняя энергия воды в каждом случае?
370. Выполните такой опыт: опустите алюминиевую и железную ложки в горячую воду. Какая из них быстрее нагреется? Какая из них имеет лучшую теплопроводность?
371. Почему куски железа и дерева на морозе кажутся неодинаково холодными, а летом в знойный день бетонный столб изгороди и железная ограда — неодинаково нагретыми?
372. Почему плотная влажная почва имеет значительно большую теплопроводность, чем сухая и разрыхлённая? Что нужно сделать, чтобы ускорить прогревание почвы на большую глубину? С какой целью укатывают грунт?
373. Почему радиаторы водяного отопления в комнате устанавливают внизу и обязательно возле окна? Что было бы, если бы эти радиаторы разместили возле противоположной к окну стены?
374. Когда самопроизвольное смешивание холодной и горячей воды будет происходить быстрее: если в горячую воду наливать холодную, или в холодную наливать медленно горячую в той же пропорции? Ответ объясните, проверьте на опыте, используя при этом термометр.
375. В какой дымовой трубе лучше образуется тяга: кирпичной или металлической, если они имеют одинаковые внутренний диаметр и высоту?
376. Для чего в керосиновых лампах используют высокое стекло (рис. 240)?
377. Пассажиры самолёта, пролетающего над проливом, ощущают небольшое встряхива-



Рис. 240



Рис. 241

- ние («болтанку») в те моменты, когда самолёт находится над берегами пролива, а над водой он летит ровно. Дайте пояснение.
378. На рис. 241, *а* в нижнем сосуде находится вода, а в верхнем — лёд. На рис. 241, *б* — наоборот. В каком сосуде (слева или справа) быстрее остынет жидкость?
379. Сталевар, наблюдая сквозь тёмные очки за процессом сталеварения, часто дополнительно прикрывает лицо рукой. Зачем он это делает?
380. В одном из двух одинаковых жидкостных термометров резервуар зачернили, а после этого оба термометра поместили в холодильник. Какой термометр быстрее покажет снижение температуры и почему?
381. Земная атмосфера вследствие своей прозрачности очень слабо поглощает солнечные лучи и поэтому не нагревается. Почему же летом бывает жарко даже в тени?
382. Изменится ли высота полёта воздушного шара, если он в летний день окажется в тени от тучи?

## § 45 КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Для количественного описания свойств теплообмена применяют специальные физические величины, одной из которых является **количество теплоты**.

**Количество теплоты** показывает, какая кинетическая энергия хаотического (беспорядочного) движения молекул передалась от одного тела к другому при теплообмене, в результате которого изменилась внутренняя энергия обоих тел, находящихся в тепловом контакте.

*От каких условий теплообмена зависит количество теплоты?*

Всем вам, наверное, приходилось нагревать воду, и вы хорошо знаете, что для нагревания чайника, заполненного до краёв водой, нужно большее количество теплоты, чем для того же чайника, наполненного наполовину. Отсюда следует, что чем больше масса тела, тем большее количество теплоты нужно затратить, чтобы изменить его температуру на то же количество градусов.

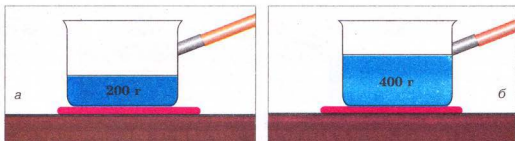


Рис. 242

♦ **Опыт 1.** На одинаковые нагреватели поставим одинаковые сосуды, в один из которых налито 200 г воды (рис. 242, *a*), а во второй — 400 г (рис. 242, *б*). Измерим начальную температуру воды — она одинакова в обоих сосудах. Нагревая воду до определённой температуры, увидим, что сосуд с водой массой 400 г нужно нагревать вдвое дольше, чем сосуд с водой массой 200 г, т. е. ей нужно сообщить вдвое большее количество теплоты. Количество теплоты, которое необходимо для нагревания тела, зависит от массы этого тела.

Чем больше масса тела, тем большее количество теплоты нужно сообщить ему, чтобы нагреть до определённой температуры.

В то же время, остывающее тело передаёт окружающей среде тем большее количество теплоты, чем больше его масса. Например, если оставить остывать сосуды из предыдущего опыта, то сосуд, в котором масса воды равна 400 г, понизит свою температуру до комнатной за большее время, чем тот, в котором 200 г воды, и отдаст при этом вдвое большее количество теплоты.

♦ **Опыт 2.** Поставим теперь сосуд с водой комнатной температуры на нагреватель и нагреем воду, например, на 10 °С. Процесс нагревания продолжается некоторое время, за которое телу будет передано определённое количество теплоты. Если мы решим поднять температуру воды ещё на 10 °С, то процесс нагревания нужно будет продолжить, и он будет длиться такое же время, которое потребовалось в первой части опыта. Понятно, что при этом воде будет передано дополнительно такое же количество теплоты, что и ранее. Следовательно, чем больше разность конечной и начальной температур тела при нагревании, тем большее количество теплоты необходимо для этого.

Чем больше разность конечной и начальной температур тела, тем большее количество теплоты ему будет сообщено при нагревании.

♦ **Опыт 3.** Возьмём два одинаковых сосуда, первый из них содержит 400 г воды (рис. 243, *a*), а второй — 400 г масла (рис. 243, *б*) комнатной температуры и поставим их на одинаковые нагреватели. Обе жидкости имеют равные массы, будем нагревать их до одинаковой температуры, например до 40 °С.

Наблюдая за показаниями термометров, погружённых в каждую из жидкостей, увидим, что масло приобретёт заданную температуру первым. Чтобы температура воды сравнялась с температурой масла, нагревание воды нужно продолжить и сообщить ей дополнительное количество теплоты.

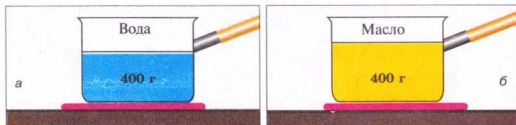


Рис. 243

**Количество теплоты, необходимое для нагревания тела до определённой температуры, зависит от того, из какого вещества состоит тело.**

♦ **Опыт 4.** Нагреем железное и алюминиевое тела одинаковой массы до определённой температуры, например до  $40^\circ\text{C}$  (рис. 244). Погрузим каждое из тел в отдельные сосуды с равным количеством воды комнатной температуры в каждой. Через определённое время увидим, что вода, в которую поместили алюминиевое тело, нагрелась больше, чем вода, в которую положили железное тело.

**Тела из разных веществ одинаковой массы и температуры, остывая, выделяют разное количество теплоты.**

**Количество теплоты – это тепловая энергия, которую получает или теряет тело при теплообмене. Оно зависит от вещества, из которого состоит тело, массы этого тела и разности его конечной и начальной температур.**

Количество теплоты обозначают большой латинской буквой  $Q$ .

Единицей количества теплоты, как и энергии, является один джоуль (1 Дж).

Используют также кратные единицы количества теплоты: один килоджоуль (1 кДж) и один мегаджоуль (1 Мдж).

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж}; 1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж}.$$

Чтобы повысить температуру воды массой 1 кг на  $1^\circ\text{C}$ , нужно сообщить ей количество теплоты, равное 4200 Дж; если нагревать 1 кг золота на  $1^\circ\text{C}$ , то понадобится лишь 130 Дж. Следовательно, для нагревания каждого вещества массой 1 кг на  $1^\circ\text{C}$  требуется определённое количество теплоты. При охлаждении на  $1^\circ\text{C}$  этих веществ массой 1 кг будут выделяться такие же количества теплоты.

**Физическую величину, показывающую, какое количество теплоты необходимо для изменения температуры вещества массой 1 кг на  $1^\circ\text{C}$ , называют удельной теплоёмкостью вещества.**



Рис. 244



Удельную теплоёмкость вещества обозначают малой латинской буквой  $c$ . Единицей удельной теплоёмкости вещества является один джоуль, поделённый на один килограмм и один градус Цельсия ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).

В таблице 7 приведены значения удельной теплоёмкости для многих веществ, используемых в промышленности и быту.

Таблица 7

Удельная теплоёмкость веществ

Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Вещество	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Вода	4 200	Сталь	500
Спирт	2 500	Железо	460
Эфир	2 350	Никель	460
Керосин	2 100	Медь	380
Лёд	2 100	Латунь	380
Воздух	1 000	Цинк	380
Алюминий	920	Серебро	250
Песок	880	Олово	250
Кирпич	880	Свинец	140
Стекло	840	Ртуть	130
Чугун	540	Золото	130

Что означает выражение «удельная теплоёмкость серебра равна  $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ »?

Это выражение означает, что для нагревания 1 кг серебра на  $1^\circ\text{C}$  нужно затратить количество теплоты, равное 250 Дж, или при охлаждении 1 кг серебра на  $1^\circ\text{C}$  выделяется количество теплоты, равное 250 Дж.

Анализируя табл. 7, видим, что вода имеет очень большую удельную теплоёмкость. Поэтому вода в морях и океанах, нагреваясь летом, поглощает большое количество теплоты, и в местах вблизи больших водоёмов летом не бывает так жарко, как в местах, отдалённых от воды. Зимой вода охлаждается и отдаёт значительное количество теплоты, поэтому зима в этих местах не такая суровая. Благодаря большой удельной теплоёмкости воду широко используют в системах водяного отопления, для охлаждения двигателей.

Ранее из результатов опытов был сделан вывод, что для нагревания любого тела нужно затратить определённое количество теплоты, зависящее от рода вещества, из которого оно изготовлено, и пропорциональное массе тела и разности его конечной и начальной температур.

А как вычислить количество теплоты, если заданы определённые значения всех этих величин?

Например, нужно рассчитать, какое количество теплоты получила при нагревании медная деталь массой 5 кг, если её температура увеличилась с 20 до  $520^\circ\text{C}$ . В табл. 7 находим значение удельной теплоёмкости меди: она

равна  $380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Это означает, что для нагревания меди массой 1 кг на  $1^\circ\text{C}$  необходимо 380 Дж. А для нагревания меди массой 5 кг на  $1^\circ\text{C}$  нужно в 5 раз большее количество теплоты, т. е.  $380 \text{ Дж} \cdot 5 = 1900 \text{ Дж}$ . Для нагревания меди массой 5 кг на  $500^\circ\text{C}$  нужно ещё в 500 раз большее количество теплоты, т. е.  $1900 \text{ Дж} \cdot 500 = 950\,000 \text{ Дж} = 950 \text{ кДж}$ .

Чтобы вычислить количество теплоты, необходимое для нагревания тела, или количество теплоты, которое выделяет тело при охлаждении, нужно удельную теплоёмкость вещества умножить на массу тела и на разность конечной и начальной температур тела.

Математически это правило записывают в виде такой формулы:

$$Q = cm(t_2 - t_1),$$

где  $Q$  — количество теплоты;  $c$  — удельная теплоёмкость вещества;  $m$  — масса тела;  $t_1$  — начальная температура тела;  $t_2$  — конечная температура тела.

Чтобы определить массу тела, которое нагревается или охлаждается, нужно количество теплоты разделить на удельную теплоёмкость вещества и на разность конечной и начальной температур тела:

$$m = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)}.$$

Чтобы определить удельную теплоёмкость вещества, из которого изготовлено тело, нужно количество теплоты разделить на массу тела и на разность его конечной и начальной температур:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Чтобы определить, на сколько градусов изменилась температура тела, нужно количество теплоты разделить на удельную теплоёмкость вещества и на массу тела:

$$(t_2 - t_1) = \frac{Q}{cm}.$$

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Единицей количества теплоты с давних времён была особая единица — **калория** (от латинского слова *калор* — тепло, жар).
- Калория (кал) — это количество теплоты, которое нужно сообщить 1 г воды для нагревания её на  $1^\circ\text{C}$ . Можно сказать также, что калория — это количество теплоты, которую теряет 1 г воды, охлаждаясь на  $1^\circ\text{C}$ .

- Пользуются также большей единицей количества теплоты – **килокалорией** (это можно увидеть в надписях на консервах):

$$1 \text{ ккал} = 1000 \text{ кал};$$

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}.$$



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое количество теплоты?
2. От каких физических величин зависит количество теплоты, необходимое для нагревания тела?
3. Назовите единицы количества теплоты.
4. Что такое удельная теплоемкость вещества? Что она показывает?

## § 46

### ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС

Тела с разными температурами обмениваются между собой теплотой. Тела, более нагретые, отдают часть своей энергии телам, менее нагретым, до тех пор, пока у них температура не уравнивается.

**Количество теплоты, отданное всеми охлаждающимися телами, равно количеству теплоты, полученному всеми нагревающимися телами (при условии, что при этом не происходит превращения тепла в другие виды энергии).**

При расчётах, касающихся обмена энергией между телами, всегда следует учитывать всё то количество теплоты, которое в рассматриваемых тепловых явлениях отдают тела, и то количество теплоты, которое получают другие тела, принимающие участие в тех же явлениях: эти количества теплоты должны быть равны между собой.

Применим это утверждение к смешиванию двух жидкостей разной температуры.

Обозначим массу холодной жидкости через  $m_1$ , ее удельную теплоёмкость –  $c_1$  и ее температуру –  $t_1$ . Те же величины для горячей жидкости соответственно будут:  $m_2$ ,  $c_2$ ,  $t_2$ .

Если обе жидкости смешать в одном сосуде (для упрощения задачи будем считать, что он изготовлен из вещества, являющегося полным теплоизолятором и не принимает участия в теплообмене), то молекулы горячей жидкости будут отдавать энергию молекулам холодной жидкости до тех пор, пока не установится некоторая промежуточная температура смеси жидкостей. Обозначим окончательную температуру смеси большой греческой буквой  $\Theta$  (тэта). Тогда количество теплоты, отданное горячей жидкостью, будет определяться такой формулой:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - \Theta),$$

а количество теплоты, полученное жидкостью, которая нагревается, такой:

$$Q_1 = c_1 m_1 (\Theta - t_1).$$

Поскольку количество теплоты, отданной охлаждающейся жидкостью, равно количеству теплоты, полученной нагревающейся жидкостью, т. е. ( $Q_2 = Q_1$ ), то можем приравнять правые части этих выражений. Получим такое равенство:

$$c_2 m_2 (t_2 - \Theta) = c_1 m_1 (\Theta - t_1).$$

Это уравнение называют **уравнением теплового баланса**. В своё время для случая воды его вывел петербургский академик Георг Рихман.

Из уравнения теплового баланса можно, если остальные величины известны, определить массу одной из смешиваемых жидкостей, или её начальную температуру, или температуру смеси, а также значение неизвестной удельной теплоёмкости.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Объясните, что показывает уравнение теплового баланса?
2. Что нужно знать, чтобы вычислить количество теплоты, получаемое телом при нагревании, или выделяющееся при охлаждении тела?
3. Какой вывод можно сделать из опыта по смешиванию холодной и горячей жидкостей? Почему на практике эти энергии не равны друг другу?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12

### ИЗУЧЕНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ПРИ СМЕШИВАНИИ ВОДЫ РАЗНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

- **Цель работы:** определить количество теплоты, которую отдала горячая вода во время теплообмена, и количество теплоты, которую получила холодная вода. Объяснить результаты.
- **Приборы и материалы:** калориметр, измерительный цилиндр или мензурка, термометр, стакан с холодной водой, сосуд с горячей водой.

**Калориметр** (рис. 245) — прибор, который состоит из двух сосудов: внутренний — из алюминия, внешний может быть из пластмассы. Пространство между сосудами заполнено воздухом и контакт между их поверхностями практически отсутствует. Такое устройство прибора уменьшает теплообмен вещества во внутреннем сосуде с внешней средой.



Рис. 245

## Ход работы

1. Измерьте массу внутреннего сосуда калориметра  $m_k$ .
2. Налейте в стакан  $m_x = 100$  г холодной воды, а в калориметр —  $m_r = 100$  г горячей воды. Измерьте термометром температуру  $t_x$  холодной и  $t_r$  горячей воды. Результаты занесите в таблицу.
3. Холодную воду вылейте в калориметр с горячей водой, размешайте (осторожно) термометром образовавшуюся смесь и измерьте её температуру  $t_c$ .

Таблица

Масса калориметра, $m_k$ , кг	Масса горячей воды, $m_r$ , кг	Масса холодной воды, $m_x$ , кг	Температура горячей воды, $t_r$ , °C	Температура холодной воды, $t_x$ , °C	Температура смеси, $t_c$ , °C	Количество теплоты, полученной холодной водой, $Q_1$ , Дж	Количество теплоты, отданной горячей водой, $Q_2$ , Дж	Количество теплоты, полученной калориметром $Q_3$ , Дж

4. Определите по формуле  $Q_1 = cm_x(t_c - t_x)$  количество теплоты, которую получила холодная вода от горячей.
5. Определите по формуле  $Q_2 = cm_r(t_r - t_c)$  количество теплоты, которую отдала горячая вода холодной ( $c = 4\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
6. Определите по формуле  $Q_3 = c_k m_k(t_c - t_x)$  количество теплоты, которую получил от горячей воды внутренний сосуд калориметра ( $c_k = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
7. Проверьте уравнение теплового баланса:  $Q_2 = Q_1 + Q_3$ . Сравните полученные результаты, сделайте выводы. На уравнении теплового баланса основывается определение удельной теплоёмкости вещества.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ ТЕПЛОЁМКОСТИ ВЕЩЕСТВА

- **Цель работы:** используя уравнение теплового баланса, определить удельную теплоёмкость твёрдого тела.
- **Приборы и материалы:** стакан с водой, калориметр, весы (динамометр), набор гирь, металлический цилиндр на нити, сосуд с горячей водой, термометр.

## Ход работы

1. Измерьте массу внутреннего сосуда калориметра  $m_k$ .
2. Налейте в калориметр воды  $m_x = 100 - 150$  г комнатной температуры. Измерьте её температуру  $t_x$ . Результаты занесите в таблицу.
3. Нагрейте цилиндр в сосуде с горячей водой. Измерьте её температуру (эта температура и будет начальной температурой цилиндра  $t_r$ ). Потом опустите его в калориметр с водой.

4. Измерьте температуру  $t_c$  воды в калориметре после опускания цилиндра.
5. Определите по формуле  $Q_1 = c m_x (t_c - t_x)$  количество теплоты, которую получила холодная вода от горячего тела ( $c = 4\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
6. Определите по формуле  $Q_2 = c_t m_t (t_t - t_c)$  количество теплоты, которое отдало горячее тело холодной воде.
7. Определите по формуле  $Q_3 = c_k m_k (t_c - t_x)$  количество теплоты, которую получил от горячей воды внутренний сосуд калориметра ( $c_k = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
8. Используя уравнение теплового баланса  $Q_2 = Q_1 + Q_3$ , т. е.

$$c_t m_t (t_t - t_c) = c m_x (t_c - t_x) + c_k m_k (t_c - t_x),$$

определите удельную теплоёмкость твёрдого тела (цилиндра):

$$c_t = \frac{c m_x (t_c - t_x) + c_k m_k (t_c - t_x)}{m_t (t_t - t_c)}.$$

Полученное значение удельной теплоёмкости сравните с её табличным значением и определите, какой это металл.

Масса калориметра, $m_k$ , кг	Масса холодной воды, $m_x$ , кг	Начальная температура тела, $t_t$ , $^\circ\text{C}$	Температура холодной воды, $t_x$ , $^\circ\text{C}$	Температура нагретой телом воды, $t_c$ , $^\circ\text{C}$	Количество теплоты, полученной холодной водой, $Q_1$ , Дж	Количество теплоты, отданной горячим телом, $Q_2$ , Дж	Количество теплоты, полученной калориметром, $Q_3$ , Дж	Удельная теплоёмкость вещества тела $c_t$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### ➤ Решаем вместе

1. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы 2 кг воды нагреть от 20 до 100  $^\circ\text{C}$ ?

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела, определяется по формуле:

$$Q = c m (t_2 - t_1).$$



$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$Q = ?$

Ответ:  $Q = 672 \text{ кДж}$ .

$$Q = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C}) = \\ = 672\,000 \text{ Дж} = 672 \text{ кДж}.$$

2. Какое количество теплоты выделится при охлаждении 3 кг свинца от 320 до 20 °C?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 320 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 ^\circ\text{C}$$

$$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$Q = ?$

Ответ:  $Q = -126 \text{ кДж}$ .

Решение

Количество теплоты, необходимое для нагревания тела, определяется по формуле

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

$$Q = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 3 \text{ кг} \cdot (20 ^\circ\text{C} - 320 ^\circ\text{C}) = \\ = -126\,000 \text{ Дж} = -126 \text{ кДж}.$$

Знак «-» означает, что энергия выделилась при охлаждении тела.

### Уровень А

383. Четыре цилиндра — алюминиевый, латунный, железный и свинцовый, имеющие одинаковую массу, нагрели в воде до одинаковой температуры и одновременно поставили на парафиновую пластинку (рис. 246). Одинаковые ли количества теплоты отдали эти цилиндры парафину? Одинаковое ли количество теплоты необходимо для нагревания 1 кг каждого из этих веществ на 1 °C?
384. В одну пробирку налили воду, в другую — масло такой же массы и такой же температуры. Какая из этих жидкостей будет быстрее нагреваться, если пробирки погрузить в горячую воду? Одинаковое ли количество теплоты необходимо для их нагревания до температуры горячей воды?
385. В два сосуда с одинаковым количеством воды, температура которой 20 °C, опускают нагретые до 100 °C куски железа и меди одинаковой массы. В каком сосуде температура воды будет выше и почему?
386. В стакан прежде чем налить кипятка кладут чайную ложку. С какой целью это делают и какая ложка — алюминиевая или серебряная одинаковой массы — более пригодна для этого?
387. Стальные детали, нагретые в специальных печах до температуры 800 °C, закаливают, погружая их в воду или масло. В какой из этих жидкостей деталь быстрее охлаждается и почему?
388. Почему вода является наилучшей жидкостью для: а) водяного

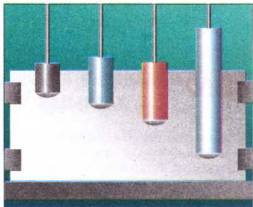


Рис. 246

отопления домов; б) для охлаждения двигателей автомобилей и тракторов; в) охлаждения нагретых металлических деталей; г) медийских грелок; д) тушения пожара?

389. Почему стержни паяльников изготавливают из красной меди, а не используют для этого железо?

390. Какое количество теплоты необходимо сообщить 1 кг воды, чтобы повысить ее температуру от 20 до 100 °C?

391. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы нагреть на плите алюминиевую сковороду массой 500 г от 20 до 220 °C?

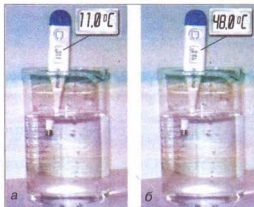


Рис. 247

### Уровень Б

392. Какое количество теплоты отдаст воде во время закаливания стальная деталь, нагретая до температуры 800 °C? Масса детали равна 2 кг, а вода нагревается при этом до 50 °C.

393. На электроплитке нагрели 2 л воды (рис. 247, а, б). Какое количество теплоты получила вода?

394. В радиаторы водяного отопления поступает вода, температура которой 80 °C и выходит из них имея температуру 60 °C. Какое количество теплоты отдаёт за сутки вода, если за 1 ч через радиаторы протекают 120 л воды?

395. Температура молока при доении коров равна 37 °C. Для транспортировки его охлаждают до температуры 4 °C. Какое количество теплоты выделяется при этом, если средний удой на ферме равен 800 кг? Удельная теплоёмкость молока —  $3900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Сколько воды можно нагреть за счёт выделенного тепла от 0 до 30 °C, чтобы использовать его для обогрева помещения фермы?

396. Какую массу воды можно нагреть на 10 °C, сообщив 1 кДж теплоты?

## § 47

### ПЛАВЛЕНИЕ И КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ТВЁРДЫХ ТЕЛ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕНИЯ

• **Наблюдение.** Лёд из морозильной камеры, положим в тарелку; через некоторое время он начинает таять и полностью превращается в воду.

♦ **Опыт 1.** Кусочки олова поместим в стальную ложку и будем нагревать на спиртовке или газовой горелке (рис. 248). Олово начнёт плавиться и полностью перейдёт в жидкое состояние. Уберём ложку с жидким оловом из пламени горелки. Олово начнёт кристаллизоваться и полностью

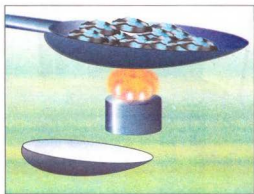


Рис. 248

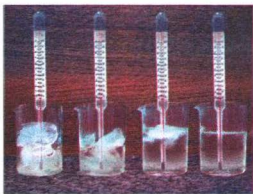


Рис. 249

превратится в твёрдое тело, имеющее форму ложки.

Следовательно, нагревая тела, их можно перевести из твёрдого состояния в жидкое, и, наоборот, охлаждая, — из жидкого состояния в твёрдое.

**Процесс перехода вещества из твёрдого состояния в жидкое называют плавлением. Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твёрдое называют кристаллизацией (отвердеванием).**

Зимой, осенью, весной, когда температура воздуха может быть  $0^{\circ}\text{C}$ , тают снег и лёд, но вместе с тем замерзает вода. При  $0^{\circ}\text{C}$  снег и лёд тают (плавятся), а вода замерзает (отвердевает). На Севере, в Антарктиде, где температура воздуха может опускаться ниже  $-40^{\circ}\text{C}$ , нельзя пользоваться ртутным термометром, так как ртуть отвердевает при температуре  $-39^{\circ}\text{C}$ . Там используют спиртовые термометры, так как спирт замерзает при температуре  $-114^{\circ}\text{C}$ .

Каждое вещество плавится или кристаллизуется при определённой температуре. Температуру, при которой вещество плавится, называют **температурой плавления**, а при которой отвердевает, — **температурой кристаллизации**. Из опыта известно, что вещества отвердевают при той же температуре, при которой плавятся. Во время плавления тела поглощают теплоту, а во время отвердевания — выделяют. Значения температур плавления для наиболее используемых веществ представлены в таблице 8 на с. 193.

♦ **Опыт 2.** В сосуд с кусочками льда поместим термометр и будем его подогревать (рис. 249). Лёд будет таять, а термометр будет показывать  $0^{\circ}\text{C}$ . Пока весь лёд не растает, температура ( $0^{\circ}\text{C}$ ) в сосуде изменяться не будет.

**При плавлении вещества его температура не изменяется.**

♦ **Опыт 3.** Поставим на чашку весов закрытый сосуд со льдом, уравновесим весы (рис. 250, а). Через некоторое время лёд превратится в воду. Равновесие весов не нарушится (рис. 250, б).

**При переходе вещества из одного состояния в другого его масса не изменяется.**



Рис. 250

♦ **Опыт 4.** Налейм в бутылку воды и плотно её закупорим. Поместим бутылку с водой в холодильную камеру. Когда вода замёрзнет, бутылка треснет, так как объём льда больше, чем воды (рис. 251).

При переходе вещества из одного состояния в другое изменяется его плотность, а, следовательно, и объём данной массы вещества.

Теперь выясним, от чего зависит количество теплоты, которое нужно затратить, чтобы расплавить кристаллическое тело при температуре плавления или которое выделяется во время его кристаллизации.

♦ **Опыт 5.** В одном сосуде будем плавить 100 г свинца (рис. 252, а), а во втором — 200 г (рис. 252, б). Если нагреватели одинаковы, то для плавления 200 г свинца придётся затратить большее количество теплоты, чем для 100 г.



Рис. 251

Количество теплоты, необходимое для плавления тела, зависит от его массы.

♦ **Опыт 6.** На одинаковых нагревателях в одном сосуде будем плавить 100 г свинца (рис. 253, а), а во втором — 100 г олова (рис. 253, б). В результате опыта увидим, что для плавления олова нужно затратить большее количество теплоты, чем для плавления свинца.

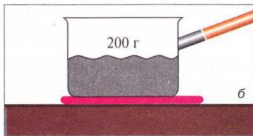
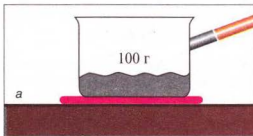


Рис. 252

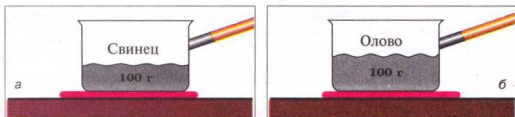


Рис. 253

**Количество теплоты, необходимое для плавления тела, зависит от рода вещества, из которого изготовлено тело.**

Величину, характеризующую энергетические затраты на плавление определённого вещества, называют **удельной теплотой плавления вещества**. Её обозначают малой греческой буквой  $\lambda$  (лямбда). Единицей удельной теплоты плавления вещества в СИ является **один джоуль на килограмм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ )**.

Удельную теплоту плавления вещества определяют с помощью опытов. Было установлено, что удельная теплота плавления льда равна  $340\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  ( $3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ). Это означает, что для превращения бруска льда массой  $1 \text{ кг}$  при температуре плавления  $0^\circ\text{C}$  в воду нужно затратить  $340\,000 \text{ Дж}$  энергии. Во время обратного процесса — кристаллизации — такое же количество теплоты выделится.

**Удельная теплота плавления вещества — это физическая величина, показывающая, какое количество теплоты нужно сообщить телу массой  $1 \text{ кг}$ , чтобы превратить его в жидкость при температуре плавления.**

Из опытов определена удельная теплота плавления для каждого вещества, значения которой для наиболее используемых веществ представлены в таблице 8.

Таблица 8

#### Удельная теплота плавления веществ

(при температуре плавления и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	Удельная теплота плавления $\lambda$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Температура плавления (кристаллизации), $^\circ\text{C}$	Вещество	Удельная теплота плавления $\lambda$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Температура плавления (кристаллизации), $^\circ\text{C}$
Алюминий	393 000	660	Сталь, чугун	85 000 — 140 000	1100 — 1500
Лёд	332 400	0	Золото	67 000	1064
Железо	270 000	1535	Водород	58 600	– 259
Медь	213 000	1085	Олово	59 000	232
Вольфрам	185 000	3387	Свинец	24 300	327
Спирт	105 000	– 98	Кислород	13 800	– 218
Серебро	87 300	962	Ртуть	11 700	– 39

Чтобы рассчитать количество теплоты  $Q$ , которое необходимо затратить на плавление тела массой  $m$ , взятого при температуре плавления, нужно удельную теплоту плавления  $\lambda$  умножить на массу тела:

$$Q = \lambda m,$$

где  $Q$  — количество теплоты;  $\lambda$  — удельная теплота плавления вещества;  $m$  — масса тела.

Количество теплоты, которая выделяется при отвердевании тела массой  $m$ , также определяют по этой формуле.

Процессы нагревания и кристаллизации можно изобразить графически. По оси  $Oy$  откладываем значение температуры вещества, а по оси  $Ox$  — время нагревания и плавления вещества. Например, на рис. 254 графически изображены процессы нагревания льда, плавления льда и нагревания воды. График нагревания и плавления вещества состоит из трёх участков: для нагревания льда — это прямая линия с определённым углом наклона, зависящим от значения удельной теплоёмкости вещества: чем больше её значение, тем меньший наклон, температура льда возрастает прямо пропорционально времени нагревания; для плавления льда — это горизонтальная линия, температура смеси воды и льда остаётся постоянной и равна температуре плавления льда до тех пор, пока весь лёд не растает; для нагревания образовавшейся воды — прямая линия, угол наклона которой определяется удельной теплоёмкостью воды. Её значение больше, чем для льда, поэтому и наклон меньший, температура воды возрастает прямо пропорционально времени.



Рис. 254



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое плавление?
2. Что называют кристаллизацией?
3. Как изменяется температура тела во время плавления и кристаллизации?
4. Расскажите, как изменяется масса тела во время перехода его из твердого состояния в жидкое и наоборот.
5. От чего зависит количество теплоты, которое нужно затратить, чтобы расплавить кристаллическое тело или которая выделяется при его кристаллизации?
6. Что такое удельная теплота плавления вещества?



## ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

## ➤ Решаем вместе

1. Пользуясь таблицей 8, выясните, в каком состоянии находятся металлы: серебро, золото, медь, алюминий, вольфрам, сталь при температуре  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Ответ: серебро, алюминий — в жидком состоянии; золото, медь, вольфрам, сталь — в твёрдом состоянии.

2. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы расплавить  $1\text{ кг}$  свинца, взятого при температуре  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Дано:

$$m = 1\text{ кг}$$

$$t = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 130\text{ }\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$\lambda = 24\,300\text{ }\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$Q = ?$

Решение

Для того чтобы расплавить свинец, его нужно нагреть до температуры плавления, а потом расплавить. Количество теплоты, необходимое для нагревания свинца, определяем по формуле:  $Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t)$ .

Количество теплоты, необходимое для того, чтобы расплавить свинец, определяем по формуле:  $Q_2 = \lambda m$ .

Тогда количество теплоты, необходимое для нагревания и плавления свинца, определим так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_{\text{пл}} - t) + \lambda m = m(c(t_{\text{пл}} - t) + \lambda).$$

Подставив значения величин, получим:

$$Q = 1\text{ кг} \left( 130\text{ }\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} (327\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}) + 24\,300\text{ }\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} \right) = 63\,300\text{ Дж} = 63,3\text{ кДж}.$$

Ответ:  $Q = 63\,300\text{ Дж} = 63,3\text{ кДж}$ .

## Уровень А

397. В воде плавает лёд (температура воды и льда одинаковая —  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Один ученик утверждает, что вода замёрзнет, а второй — что лёд растает. Решите спор.
398. Почему олово можно расплавить в пламени свечи, а железо — нет?
399. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы расплавить  $2\text{ кг}$  серебра, взятого при температуре плавления?
400. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы растопить  $10\text{ кг}$  льда, взятого при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Объясните решение.
401. Какую массу золота можно расплавить, затратив  $125\text{ кДж}$  теплоты?
402. Какое количество теплоты выделится при замерзании воды массой  $5\text{ кг}$  при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

## Уровень Б

403. Весной, когда температура воздуха намного выше  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лёд ещё долгое время не тает и, наоборот, осенью, когда температура воздуха ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вода не сразу замерзает. Почему?
404. Можно ли расплавленным металлом заморозить воду?

405. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы расплавить 2 кг олова, взятого при температуре  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
406. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы полностью расплавить свинцовую полосу массой 4 кг, взятую при температуре  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
407. Температура алюминиевой полосы массой 5 кг равна  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Можно ли полностью расплавить такую полосу, сообщив ей 500 кДж энергии?
408. Для какого вещества изображены на графике (рис. 255) процессы нагревания и плавления?

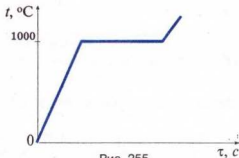


Рис. 255

## § 48 ИСПАРЕНИЕ И КОНДЕНСАЦИЯ ЖИДКОСТЕЙ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА ПАРООБРАЗОВАНИЯ

• **Наблюдение 1.** Летом после дождя лужи быстро высыхают; вечером, когда воздух становится холоднее, выпадает роса. Если оставить на огне сосуд с водой, то спустя некоторое время воды в сосуде не останется, так как она выкипит. Следовательно, **жидкости могут испаряться, т. е. переходить в газообразное состояние.** Легко убедиться, что чем выше температура, тем интенсивнее происходит этот процесс. Так, летом лужи высыхают быстрее, чем весной или осенью.

▶ **Процесс перехода жидкости в пар (в газообразное состояние) называют парообразованием.**

Существуют два способа перехода жидкости в газообразное состояние: **испарение и кипение.**

▶ **Испарение — это парообразование, происходящее со свободной поверхности жидкости.**

Испарение происходит при любой температуре, но скорость его зависит от нескольких причин. Чтобы убедиться в этом, выполним такие опыты.

◆ **Опыт 1.** На бумагу капнем эфира, воды, спирта, масла. Сначала испарится эфир, потом — спирт, вода, а масло будет высыхать несколько дней.

▶ **Скорость испарения зависит от вида жидкости.**

◆ **Опыт 2.** Налейм одинаковое количество воды в стакан и широкую тарелку. Вода сначала испарится из тарелки, а потом — из стакана.

**Скорость испарения зависит от площади поверхности жидкости.**

♦ **Опыт 3.** Одну тарелку с водой поставим на столе в комнате, а другую — на батарею водяного отопления или другое тёплое место. Вода сначала испарится из той тарелки, которая стоит в более тёплом месте.

**Скорость испарения зависит от температуры жидкости.**

• **Наблюдение 2.** Выстиранное бельё развешивают для просушки. В сухую ветреную тёплую погоду бельё сохнет намного быстрее, чем в тихую или прохладную погоду.

**Скорость испарения зависит от наличия потоков воздуха и его влажности.**

Теперь, зная причины, от которых зависит скорость испарения, мы можем объяснить, для чего, например, переливают чай из стакана в блюдце, дуют на горячий борщ или кашу, пользуются веером при высокой температуре воздуха.

При определённой температуре (**температуре кипения**) жидкости начинают интенсивно испаряться не только с поверхности, но и изнутри с образованием пузырьков. Это явление называют **кипением** (рис. 256).

**Кипение — это интенсивное парообразование не только со свободной поверхности жидкости, но и из всего объёма внутри пузырьков пара, которые при этом возникают.**

Значение температуры кипения жидкостей зависит от атмосферного давления. В таблице 9 на с. 199 представлены значения температуры кипения некоторых жидкостей при нормальном атмосферном давлении: вода кипит при температуре  $100^{\circ}\text{C}$ , ацетон — при  $56^{\circ}\text{C}$ , жидкий кислород — при  $-183^{\circ}\text{C}$ .

Из опытов известно, что с охлаждением газов до определённой температуры (температуры конденсации) они начинают сжиматься и становятся жидкостями. Установлено, что это происходит при той же температуре, при которой соответствующая жидкость кипит. Это обратные процессы, как и в случае перехода воды в лёд, направление перехода зависит от конкретных физических условий: если жидкость получает теплоту, то кипит и переходит в газообразное состояние; если газ отдаёт теплоту, то он сжимается, т. е. конденсируется. Например, аммиак конденсируется при температуре  $-33,4^{\circ}\text{C}$ , жидкий кислород — при  $-183^{\circ}\text{C}$ , воздух — при  $-195^{\circ}\text{C}$ .

В воздухе содержится много водяного пара. Когда воздух охлаждается, пар переходит в жидкое состояние: образуются тучи, туман, роса.

Теперь выясним, от чего зависит количество теплоты, которое нужно затратить, чтобы испарить жидкость при температуре кипения или которое выделяется при конденсации газа.



Рис. 256

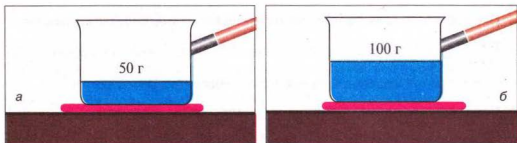


Рис. 257

♦ **Опыт 4.** Поставим на плиту два сосуда, в один из которых нальём 50 г воды (рис. 257, а), а в другой — 100 г воды (нагреватели и сосуды одинаковы) (рис. 257, б). Доведём воду до кипения и будем испарять. Сначала испарится вода в сосуде, где было 50 г, а потом — в сосуде со 100 г воды.

♦ **Количество теплоты, необходимое для испарения жидкости при температуре кипения, зависит от массы жидкости.**

♦ **Опыт 5.** На одинаковые нагреватели поставим сосуды, в одном из которых 50 г воды (рис. 258, а), а во втором — 50 г спирта (рис. 258, б). Доведём эти вещества до кипения (спирт закипает при  $78^\circ\text{C}$ , а вода — при  $100^\circ\text{C}$ ) и будем их испарять. Результаты опыта показывают, что сначала испарится спирт, а потом — вода.

♦ **Количество теплоты, необходимое для испарения жидкости при температуре кипения, зависит от рода вещества.**

Величину, которая характеризует энергетические затраты на испарение определённой жидкости массой 1 кг, называют **удельной теплотой парообразования**. Её обозначают большой латинской буквой  $L$ . Единицей удельной теплоты парообразования вещества в СИ является один джоуль на килограмм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ).

Удельную теплоту парообразования вещества определяют с помощью опытов. Установлено, что удельная теплота парообразования воды при  $100^\circ\text{C}$  равна  $2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ . Это значит, что для превращения воды массой 1 кг в пар при  $100^\circ\text{C}$  необходимо 2 300 000 Дж энергии. При обратном процессе — конденсации — такое же количество теплоты выделится.

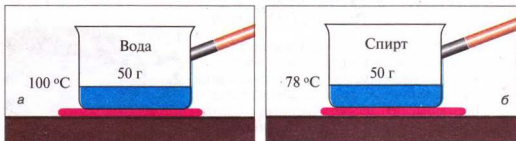


Рис. 258

**Удельная теплота парообразования вещества** – это физическая величина, определяющая, какое количество теплоты необходимо, чтобы превратить жидкость массой 1 кг в пар при температуре кипения.

Каждая жидкость имеет свою удельную теплоту парообразования. Значения удельной теплоты парообразования некоторых жидкостей приведены в таблице 9.

Таблица 9

**Удельная теплота парообразования веществ**  
(при температуре кипения и нормальном атмосферном давлении)

Вещество	$L, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Температура кипения (конденсации), °C	Вещество	$L, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Температура кипения (конденсации), °C
Вода	2 300 000	100	Ртуть	300 000	357
Ацетон	521 000	57	Кислород	213 000	– 183
Спирт	900 000	78	Скипидар	161 000	287

Чтобы рассчитать количество теплоты  $Q$ , которое необходимо для испарения жидкости массой  $m$ , взятой при температуре кипения, нужно удельную теплоту парообразования вещества  $L$  умножить на массу жидкости:

$$Q = Lm,$$

где  $Q$  — количество теплоты;  $L$  — удельная теплота парообразования вещества;  $m$  — масса жидкости.

Количество теплоты, выделяющееся при конденсации пара массой  $m$ , определяется по этой же формуле.

Процессы нагревания и испарения можно изобразить графически. По оси  $Oy$  откладываем значение температуры жидкости, а по оси  $Ox$  — время нагревания и испарения жидкости. Например, на рис. 259 графически изображены процессы нагревания и испарения воды кипением. График нагревания и испарения жидкости состоит из трёх участков: для нагревания жидкости — это прямая линия с определённым углом наклона, который зависит от значения удельной теплоёмкости жидкости; для кипения жидкости — это горизонтальная линия, температура жидкости остаётся постоянной и равна температуре кипения жидкости до тех пор, пока вся жидкость испарится; для нагревания образовавшегося пара — прямая линия, угол наклона которой определяется удельной теплоёмкостью пара, температура пара возрастает прямо пропорционально времени.



Рис. 259



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое парообразование?
2. Что называют конденсацией?
3. Что такое кипение?
4. От чего зависит количество теплоты, которое необходимо для испарения жидкости или которое выделяется при конденсации пара?
5. Что показывает удельная теплота парообразования жидкости? Назовите её единицу.
6. Как рассчитать количество теплоты, необходимое для испарения жидкости при температуре её кипения?

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### ➤ Решаем вместе

1. Почему жирный суп долго не остывает даже тогда, когда его налили в тарелку?

Ответ: жир очень медленно испаряется по сравнению с водой, поэтому тонкий слой жира на поверхности супа задерживает испарение воды, в связи с этим охлаждение супа замедляется.

2. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы превратить 3 кг спирта, взятого при температуре  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в пар?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$c = 2400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$t = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_k = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$L = 900\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$Q = ?$

Решение

Для превращения спирта в пар нужно сначала его нагреть до температуры кипения, а потом испарить.

Количество теплоты, необходимой для нагревания спирта, определяем по формуле:

$$Q_1 = cm(t_k - t).$$

Количество теплоты, необходимое для испарения спирта определяем по формуле:  $Q_2 = Lm$ .

Тогда количество теплоты, затраченной на нагревание и испарение спирта, определим так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_k - t) + Lm = m(c(t_k - t) + L).$$

Подставив значения величин, получим:

$$Q = 3 \text{ кг} \left( 2400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} (78\text{ }^{\circ}\text{C} - 18\text{ }^{\circ}\text{C}) + 900\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = 1\,044\,000 \text{ Дж} = 1044 \text{ кДж} = 1,044 \text{ МДж}.$$

Ответ:  $Q = 1,044 \text{ МДж}$ .



**Уровень А**

409. Как объяснить, что испарение жидкостей происходит при любой температуре?
410. Находясь в походе, турист налил в сосуд воды из холодного источника и увидел, что сосуд снаружи покрылся капельками жидкости. Объясните это явление.
411. Для чего овощи и фрукты, предназначенные для сушки, разрезают на тонкие кусочки?
412. Почему на лесных дорогах лужи высыхают дольше, чем на полевых?
413. Какое количество теплоты необходимо для превращения 150 г воды при 100 °С в пар?
414. Какое количество теплоты выделится при конденсации 10 кг водяного пара?

**Уровень Б**

415. Известно, что чрезмерное испарение воды из почвы приводит к её высыханию и снижению урожайности. Тем не менее без испарения невозможно представить развитие растений. Почему?
416. Холодную воду налили в бутылку, в флягу в брезентовом чехле и в обожжённый глиняный кувшин. Обожжённая глина имеет пористое строение. В каком из сосудов вода спустя некоторое время будет наиболее холодной? Наиболее тёплой?
417. У растений, произрастающих в местах с влажным климатом, широкая листва, а в местах с сухим климатом — узкая и размещается вертикально. Чем это обусловлено?
418. Дистиллированную воду массой 5 кг, взятую при температуре 20 °С, надо сначала нагреть до температуры кипения, а потом превратить в пар. Какое количество теплоты необходимо для этого? В каком из двух случаев выделится большее количество теплоты:  
1) при охлаждении 5 кг воды от 100 до 0 °С;  
2) при конденсации 5 кг пара без изменения температуры?
419. Какое количество теплоты нужно затратить, чтобы 2 кг льда, взятого при температуре 10 °С, превратить полностью в пар?
420. Опишите процессы, изображенные на графике (рис. 260).



Рис. 260

## § 49 СГОРАНИЕ ТОПЛИВА. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

Основным источником энергии для обеспечения движения железнодорожных локомотивов, автомобилей, тракторов, самолётов и т. п. являются разные виды топлива. В промышленности, на транспорте и в быту используют такие виды топлива: уголь, горючие сланцы, нефть, бензин, дизельное топливо, природный газ и др.

Выясним, при каких условиях происходит полное сгорание топлива и каковы его результаты.

♦ **Опыт 1.** Зажжём свечу. Она будет гореть. Накроем её стеклянным сосудом (рис. 261, а). Через некоторое время свеча гаснет (рис. 261, б). Почему?

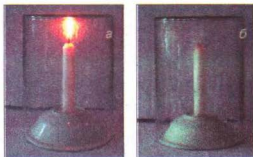


Рис. 261

Процесс горения происходит при наличии воздуха.

♦ **Опыт 2.** Цилиндр с поршнем соединяем со стеклянным шаром. На поршень ставим гирию. Нагреваем шар, сжигая сухое топливо. Воздух, нагретый в шаре, расширяется и выталкивает поршень, поднимая гирию, т. е. выполняет работу.

При сжигании топлива выделяется энергия, за счёт которой выполняется работа.

Уголь, нефть, мазут, дерево содержат углерод (табл. 10). При горении молекулы углерода соединяются с молекулами кислорода, содержащегося в воздухе. Каждая молекула углерода взаимодействует с двумя молекулами кислорода, образуя при этом молекулу углекислого газа. С образованием этой молекулы выделяется энергия.

При полном сгорании углерода образуется углекислый газ и выделяется энергия:



Горение связано с разрушением одних молекул и образованием других, например при горении метана образуются углекислый газ и вода (рис. 262) с выделением энергии:



Рис. 262

При горении изменение внутренней энергии вещества происходит не путём теплообмена или выполнения работы телом или над телом, а в результате термохимических реакций с участием топлива. При этом энергия движения молекул продуктов сгорания, а значит, и их температура будут больше, чем у молекул топлива.

Горение топлива — это процесс соединения молекул топлива с молекулами кислорода, который сопровождается выделением определённого количества теплоты и образованием новых веществ (табл. 10).

Таблица 10

## Основные характеристики некоторых видов топлива

Топливо	Состав топлива в процентах компонентов	Температура разгорания топлива (в присутствии и при контакте с пламенем), °C	Объём воздуха, необходимый для сжигания 1 кг топлива, м³	Объём смеси, образовавшейся после полного сгорания 1 кг топлива, м³	Объём воды, который можно нагреть до температуры кипения теплотой, выделившейся при полном сгорании 1 кг топлива, л
<b>Дерево сухое</b>	Органические вещества — 83, в том числе: углерод — 50 кислород — 43 водород — 6 азот — 1 минеральные вещества — 2 вода — 15	300	3,5	4 (углекислый газ, водяной пар, азот)	40
<b>Каменный уголь</b>	Углерод — 78 Водород — 5 Кислород — 6,4 Азот — 1,4 Сера — 0,7 Шлак — 7,3 Влага — 1,2	600	9	9,5 (углекислый газ, водяной пар, азот, двуокись серы)	100
<b>Антрацит</b>	Углерода — 95				
<b>Мазут</b>	Углерод — 82–86 Водород — 11–14 Сера — до 0,5	55	11	11,5 (углекислый газ, водяной пар, азот, двуокись серы)	125

♦ **Опыт 3.** Два одинаковых стакана наполним водой одинаковой массы. Под одним стаканом зажжём одну таблетку сухого топлива, а под вторым — две таблетки. Температуру воды в стаканах измеряем с помощью термометров. После полного сгорания сухого топлива температура воды во втором стакане оказывается выше, чем в первом.

! **Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива, зависит от массы топлива.**

При конструировании и производстве тепловых двигателей всегда нужно знать, какое количество теплоты необходимо для работы определённого двигателя, а значит, и определять вид топлива. Для определения необходимого количества топлива нужно знать, какое количество теплоты выделяется при полном его сгорании. Чтобы сравнивать, какой вид топлива при его полном сгорании выделяет больше теплоты, ввели такую физическую величину, как удельная теплота сгорания топлива.

! **Количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг топлива, называют удельной теплотой сгорания топлива.**

Удельную теплоту сгорания топлива обозначают малой латинской буквой  $q$ . Единицей удельной теплоты сгорания топлива в СИ является один джоуль на килограмм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ). На практике большей частью применяют кратную величину — один мегаджоуль на килограмм ( $1 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ ).

$$1 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 1\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

! **Удельная теплота сгорания топлива — это физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой разных видов топлива**

Её значения для распространённых видов топлива приведены в таблице 11.

Удельная теплота сгорания топлива

Таблица 11

Топливо	$q$ , $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Топливо	$q$ , $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Топливо	$q$ , $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Древесный уголь	34,0	Бензин	46,0	Водород	120,0
Антрацит	30,0	Керосин	46,0	Метан	50,0
Каменный уголь	27,0	Нефть	44,0	Ацетилен	48,1
Бурый уголь	17,0	Дизельное топливо	42,7	Природный газ	44,0
Торф	14,0	Мазут	41,0	Пропан	42,4
Тротил	15,0	Эфир	34,0	Аммиак	18,4
Дрова сухие	11,0	Спирт этиловый	27,0	Оксид углерода	10,1
Дрова сырые	8,0	Спирт	25,0		
Порох	3,8	Спирт метиловый	19,5		
Условное топливо	30,0				

Следует подчеркнуть, что приведённые в таблице данные соответствуют количеству теплоты, выделяющейся при полном сгорании топлива.

Чтобы подсчитать, какое количество теплоты выделится при полном сгорании 5 кг керосина, нужно рассуждать так. При сгорании 1 кг керосина выделяется 46 Мдж теплоты. Когда сгорит 5 кг керосина, количество выделенной теплоты будет в 5 раз больше, а именно:  $46 \text{ Мдж} \cdot 5 = 230 \text{ Мдж}$ .

**Чтобы определить количество теплоты, выделяющейся вследствие полного сгорания данной массы определённого вида топлива, нужно удельную теплоту сгорания этого вида топлива умножить на массу топлива:**

$$Q = qm,$$

где  $Q$  — количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива;  $q$  — удельная теплота сгорания топлива;  $m$  — масса топлива.

### ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- При неполном сгорании углерода, содержащегося в топливе, в печах или котлах, в двигателях внутреннего сгорания, выделяется оксид углерода (угарный газ):  $C + O_2 = 2CO$ . Это соединение — сильный яд! Оно не имеет цвета, запаха (в чистом виде), немного легче воздуха, плохо растворяется в воде, имеет очень низкую температуру кипения ( $-191,5^\circ\text{C}$ ). Угарной газ лучше, чем кислород, соединяется с гемоглобином крови. Возникает кислородное голодание, которое сопровождается головной болью, потерей сознания. Если в воздухе помещения содержится 0,4 % угарного газа, то вследствие сильного отравления наступает смерть. Для оказания первой помощи потерпевшего следует вынести на свежий воздух и сделать искусственное дыхание. Пострадавшему рекомендуется осторожно вдыхать раствор аммиака.



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называют удельной теплотой сгорания топлива?
2. Какие виды топлива имеют наибольшую удельную теплоту сгорания? Наименьшую?
3. Опишите, какими способами достигают полного сгорания топлива.

### ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

#### Решаем вместе

1. Каждое топливо в присутствии воздуха и в контакте с огнём загорается при определённой температуре: например, мазут — при  $55^\circ\text{C}$ ; сухое дерево — при  $300^\circ\text{C}$ ; каменный уголь — при  $600^\circ\text{C}$ . Можно ли сразу засыпать в котел каменный уголь?

Ответ: нельзя, каменный уголь не загорится, так как в котле не достигнута соответствующая температура.

2. Какое количество воды можно нагреть от 0 до  $100^\circ\text{C}$ , сжигая 1 кг водорода?

Дано:

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$q = 120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$m_{\text{в}} = ?$

Решение.

Количество теплоты, выделившееся при полном сгорании топлива, определяем по формуле:

$$Q = qm.$$

Количество теплоты, необходимой для

нагрева воды, определяем по формуле:

$$Q = cm_{\text{в}}(t_2 - t_1).$$

Считаем, что вся энергия, выделившаяся при сгорании водорода, пойдёт на нагревание воды.

$$\text{Тогда: } qm = cm_{\text{в}}(t_2 - t_1).$$

$$\text{Отсюда } m_{\text{в}} = \frac{qm}{c(t_2 - t_1)}.$$

Подставив значения величин, получим:

$$m_{\text{в}} = \frac{120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 100^\circ\text{C}} = 285,7 \text{ кг}.$$

Ответ:  $m_{\text{в}} = 285,7 \text{ кг}$ .

### Уровень А

421. Назовите все известные вам виды топлива.
422. Какие виды топлива используют для отопления в Украине?
423. Что означает запись: «Теплота сгорания антрацита —  $3 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ , сухих дров —  $1 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ »?
424. Одинаковое ли количество дров, каменного угля, торфа нужно сжечь в печи, чтобы нагреть воздух комнаты до одной и той же температуры?
425. Почему при сжигании сырых дров выделяется меньшее количество теплоты, чем при сжигании сухих?
426. В котле сожгли 12 кг каменного угля. Какое количество теплоты при этом выделилось?

### Уровень Б

427. Сжигают 2 кг каменного угля, который содержит 90 % чистого углерода. Определите массу углекислого газа, который при этом выделится, если при сжигании 12 г чистого углерода выделяется 44 г углекислого газа
428. Углекислый газ состоит из двух химических элементов: углерода (27,2 %) и кислорода (72,8 %). Определите, какая масса кислорода содержится в 50 г углекислого газа, какая масса углерода содержится в 25 г углекислого газа. Найти массы углерода и кислорода, израсходованные на образование 200 г углекислого газа.



429. Размеры комнаты: длина — 4 м, ширина — 2,8 м, высота — 2,5 м. Определите массу сухого дерева, которое может полностью сгореть, используя весь кислород, содержащийся в воздухе комнаты. Для полного сжигания 10 кг сухого дерева требует 7 м<sup>3</sup> кислорода. При нормальном атмосферном давлении объём кислорода составляет 0,2 объёма воздуха в комнате.
430. Какое количество теплоты выделится при полном сгорании 15 кг древесного угля? 7 кг спирта? Сравните эти количества теплоты. Сделайте выводы.
431. На сколько градусов можно было бы нагреть 2 кг воды при полном сжигании 10 г спирта, если бы вся выделенная энергия пошла на нагревание воды?
432. По графику зависимости (рис. 263) количества теплоты, выделяющегося при полном сгорании метана (1), бензина (2), антрацита (3), бурого угля (4), сухого торфа (5), горючих сланцев (6), свежего дерева (7) и твердого ракетного топлива (8), от массы топлива определите:

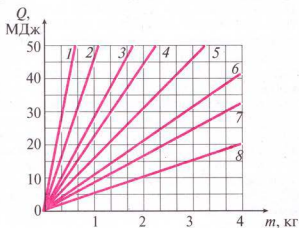


Рис. 263

- количество теплоты, выделившейся при полном сгорании 2 кг сухого торфа;
- удельную теплоту сгорания бензина;
- какое топливо имеет наибольшую удельную теплоту сгорания; наименьшую;
- сколько дерева нужно сжечь, чтобы выделилось 20 Мдж энергии;
- какую массу горючих сланцев нужно сжечь, чтобы получить такое же количество теплоты, как и в результате полного сгорания 0,5 кг бензина;
- сколько антрацита нужно сжечь, чтобы нагреть цинковое ведро с водой от 0 до 100 °С. Масса ведра — 1 кг, объём — 10 л.

## § 50 ТЕПЛОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Тепловые машины были созданы в начале XVIII ст., в период бурного развития текстильной и металлургической отраслей промышленности. Паровую водоподъёмную установку построили англичане Т. Ньюкомен и Дж. Коули в 1712 г. В России паровой двигатель создал И. Ползунов в 1765 г., а в 1784 г. в Англии Д. Уатт получил патент на универсальный паровой двигатель. Создание паровых машин, двигателей внутреннего сгорания положило начало развитию автомобильного транспорта и самолётостроения. Газовая турбина дала толчок перестройке в авиации, самолёты с поршневыми двигателями были заменены реактивными и турбореактивными лайнерами, скорость которых приближается или больше скорости звука ( $330 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1188 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ). С помощью

реактивных двигателей осуществлена давняя мечта человечества — выход в космическое пространство. На электростанциях паровые турбины приводят в движение электрические генераторы, вырабатывающие электрический ток.

Все тепловые машины, независимо от их устройства и назначения, разделяют на два вида: **тепловые двигатели** и **холодильные установки**.

♦ **Опыт.** Налейте в пробирку немного воды, плотно закройте её пробкой (рис. 264) и нагрейте воду до кипения. Под давлением пара пробка вылетит из пробирки вверх. В этом случае энергия топлива перешла во внутреннюю энергию пара, а пар, расширяясь, выполнил работу — поднял пробку. Внутренняя энергия пара превратилась в кинетическую энергию пробки. Если заменить пробирку крепким металлическим цилиндром, а пробку — припасованным поршнем, который может двигаться в цилиндре (рис. 265), то получим простейший тепловой двигатель, в котором внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию поршня.

**Тепловыми двигателями называют машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию.**

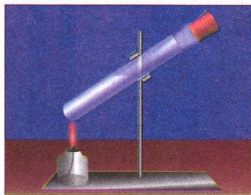


Рис. 264

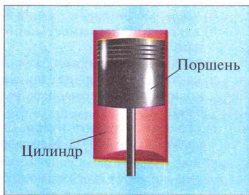


Рис. 265

К тепловым двигателям относятся: паровая машина, двигатель внутреннего сгорания (карбюраторный, дизельный), паровая и газовая турбины, реактивный двигатель.

Во всех этих двигателях внутренняя энергия топлива сначала переходит во внутреннюю энергию газа или пара. Расширяясь, газ выполняет работу и при этом охлаждается — часть его внутренней энергии превращается в механическую энергию.

**Двигатель внутреннего сгорания.** Такое название происходит от того, что топливо сгорает в цилиндре, внутри самого двигателя.

Первый поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) был создан в 1860 г. французским инженером Э. Ленуаром. Преимущество такого двигателя перед другими тепловыми двигателями заключается в том, что он имеет сравнительно малые размеры и массу. Это дало возможность использовать его на транспорте (автомобиль, трактор, тепловоз), в авиации, на кораблях (дизель-электроход, катер, подводная лодка).

Двигатели внутреннего сгорания работают на жидком топливе (бензине, керосине, нефти) или на горючем газе. На рис. 266 показан разрез простейшего ДВС.

Двигатель состоит из цилиндра, в котором перемещается поршень 3, соединённый с помощью шатуна 4 с коленчатым валом 5. На валу закреплён тяжёлый маховик 6, предназначенный для уменьшения неравномерности вращения вала.

В верхней части цилиндра есть два клапана 1 и 2, которые во время работы двигателя автоматически открываются и закрываются в нужные моменты. Через клапан 1 в цилиндр поступает смесь, которая зажигается с помощью свечи 7, а через клапан 2 выходят отработанные газы.

Каждый ход поршня вверх или вниз называется **тактом**. Рассмотрим процессы, происходящие в течение каждого такта.

Пусть поршень движется вниз из крайнего верхнего положения (рис. 267, а), и впускной клапан 1 открыт. При опускании поршня через этот клапан в камеру сгорания всасывается горючая смесь — пар бензина с воздухом. В конце такта клапан 1 закрывается. Такой такт называется **впуском**.

Поршень начинает подниматься вверх, сжимая горючую смесь (рис. 267, б). Этот такт называется **сжатием**. Незадолго до того как поршень дойдёт к верхнему крайнему положению, в свече 7 проскакивает искра, и горючая смесь воспламеняется.

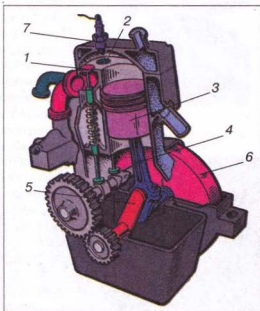


Рис. 266

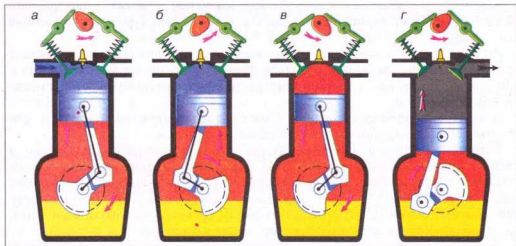


Рис. 267

Третий такт двигателя (рис. 267, в) называется **рабочим ходом**. Во время сгорания смеси температура газов в цилиндре достигает  $1600\text{--}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а давление —  $10\,000\,000\text{ Па}$ . Эти газы с большой силой давят на поршень, который опускается вниз и с помощью шатуна 4 и кривошипного механизма сообщают движение коленчатому валу.

В конце рабочего хода, когда поршень приходит в крайнее нижнее положение, открывается выпускной клапан 2 (рис. 267, г). Начинается четвертый такт — **выпуск**. Поршень, поднимаясь вверх, выталкивает отработанные газы в атмосферу.

Итак, работа четырёхтактного двигателя состоит из четырех процессов (тактов): **впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска**.

В автомобилях чаще всего используют четырёхцилиндровые двигатели внутреннего сгорания. Работа цилиндров в нём согласована так, что в каждом из них поочередно осуществляется рабочий ход, и коленчатый вал всё время получает энергию от каждого из поршней. Есть также и восьмицилиндровые двигатели. Они лучше обеспечивают равномерность вращения вала и имеют большую мощность.

**Паровая турбина.** Это тепловой двигатель, в котором пар, нагретый до высокой температуры, находится под высоким давлением и вращает его вал без помощи поршня, шатуна и коленчатого вала. На рис. 268 приведена схема простейшей паровой турбины. На вал 1 насажен диск 2, по ободу которого закреплены лопатки 3. Возле лопаток размещены трубы, называемые соплами 4. Пар, образующийся в котле, поступает в сопла,

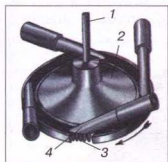


Рис. 268



Рис. 269

вырывается струями, действующими с большой силой на лопатки и приводящими во вращательное движение диск турбины. В современных паровых турбинах применяют не один, а много дисков, насаженных на общий вал (рис. 269). Пар последовательно проходит через лопатки всех дисков, отдавая каждому из них часть своей энергии. Паровые турбины являются незаменимыми тепловыми двигателями на тепловых и атомных электростанциях. Первую паровую турбину практического применения изготовил в 1889 г. К. Лавал.

**Газовая турбина и реактивные двигатели.** Преимущества паровой турбины и двигателя внутреннего сгорания объединены в газовой турбине, в которой внутренняя энергия газа превращается в кинетическую энергию вала.

В камеру сгорания 4 (рис. 270) газовой турбины с помощью компрессора 2 подаётся сжатый воздух при температуре приблизительно  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и впрыскивается жидкое топливо (керосин) под высоким давлением. При горении топлива воздух и продукты сгорания нагреваются до температуры  $1500\text{--}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Газ, движущийся с большой скоростью, направляется на лопатки турбины 3. Проходя от одного диска турбины к другому, газ отдаёт свою внутреннюю энергию, приводя турбину в движение. Получаемая механическая энергия используется для вращения, например, винта самолёта 1 или электрического генератора.

В ракетах топливо сгорает в камере сгорания (рис. 271). Образовавшиеся газы с большой силой давят на стенки камеры. С одной стороны камеры есть сопло, через которое продукты сгорания вырываются в окружающую среду. Ракета, отталкиваясь от струи вытекающего газа, приобретает движение в противоположном направлении. Такие двигатели называют **реактивными**. В реактивном двигателе внутренняя энергия топлива превращается в кинетическую энергию движущейся ракеты.

Впервые возможность и необходимость использования ракетных двигателей для запуска летательных аппаратов в космическое пространство обосновал в 1903 г. К. Циолковский.

В своей жизни вы постоянно сталкиваетесь с разнообразными двигателями. Они приводят в движение автомобили и самолёты, трактора, корабли и железнодорожные локомотивы. С помощью тепловых машин на электростанциях вырабатывается электрический ток.

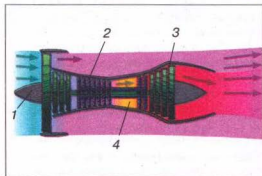


Рис. 270



Рис. 271

Работа тепловых машин связана с использованием разных видов топлива. Топки тепловых электростанций, двигатели внутреннего сгорания автомобилей (рис. 272), самолётов и других машин выбрасывают в атмосферу вредные для человека, животных и растений вещества (угарный газ, углекислый газ, оксиды азота, серы и т. п.). Эти вещества соединяются с атмосферной влагой и образуют кислоты. Это становится причиной выпадения кислотных дождей, в результате чего уничтожаются хвойные леса, гибнет рыба, снижается урожайность зерновых культур и сахарной свёклы. Увеличение количества автомашин, особенно в городах, приводит к чрезмерному загрязнению атмосферы выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Чтобы уменьшить эти выбросы, проводят регулирование двигателей для полного сгорания топлива и уменьшения содержания угарного газа, внедряют двигатели в которых используют более чистое топливо.



Рис. 272

Применение паровых турбин на электростанциях требует много воды и больших площадей, которые занимают водоёмы для охлаждения отработанного пара. Для экономии площади и водных ресурсов целесообразно строить комплексы электростанций, имеющих замкнутую систему водоснабжения.

Наиболее эффективный способ борьбы с загрязнением среды — замена двигателей внутреннего сгорания электрическими двигателями, использование энергии Земли, Солнца, ветра.

### ► ЭТО ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ

- Мысль об использовании пара для потребностей транспорта возникла ещё в XVII в. Конструкторы сначала пытались приспособить паровые двигатели к обычным экипажам. В 1763 г. французский инженер Коньо сконструировал первую паровую тележку. Эта машина работала всего 12–15 мин. Позднее **Жорж Коньо** конструирует более совершенную тележку, но когда её пустили по улицам Парижа, то оказалось, что ей невозможно управлять. В 1787 г. американец **Оливер Эванс** сконструировал паровую тележку, но она тоже была непригодна к практическому использованию. В конце 80-х годов XVIII в. **Уильям Мёрдок**, ученик и помощник **Дж. Уатта**, создал паровую тележку с двигателем конструкции своего учителя. Он сконструировал ряд интересных моделей тележек, но создать практическую транспортную машину ему не удалось. Следует отметить, что проблема создания парового автомобиля так и не была решена, автомобиль был создан на базе двигателя внутреннего сгорания.
- Многие изобретатели в ту эпоху старались сконструировать локомотив, который двигался бы по рельсам. Первым к идее применения паровых локомотивов на специальных рельсовых путях пришёл шотландский инженер и механик **Ричард Тревитик**. В 1803 г. он сконструировал паровоз



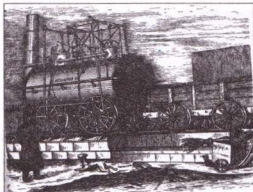


Рис. 273



Рис. 274

для рельсового пути, а в следующем году провёл его испытания. В 1814 г. сконструировал и испытал свой первый паровоз **Джордж Стефенсон**. Его конструкция и решила проблему создания парового железнодорожного транспорта (рис. 273).

- История создания парохода, как и паровоза, тоже интересная. Еще в начале XVIII в. **Дени Папен** сконструировал лодку, которая двигалась с помощью парового двигателя. Но из-за его несовершенства лодка двигалась довольно медленно. В 1736 г. англичанин **Джонатан Кольз** безуспешно пытался применить на судах паровую машину **Т. Ньюкомена**.

- Более удачные попытки начались с изобретением двигателя **Дж. Уатта**. Так, в 1781 г. француз **Клод Жоффруа** сконструировал пароход, который с помощью парового двигателя мог целый час плыть против течения. Через четыре года американец **Дж. Фитч** построил лодку, в которой паровой двигатель приводил в движение вёсла. Однако испытание этого парохода были неудачными.

- Первый практически пригодный пароход сконструировал ирландский инженер и механик **Роберт Фультон**, который, как и Стефенсон, был изобретателем-самоучкой. Свой первый ещё несовершенный пароход Фультон испытал в 1803 г. на р. Сене в Париже.

Опыт удался: судно в течение 1,5 ч плыло по Сене, развивая скорость  $5 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$  по течению. В 1807 г. Фультон сконструировал колёсный пароход «Клермонт», на котором установил паровую машину двойного действия Уатта. Длина этого парохода составляла 43 м, мощность двигателя – 20 лошадиных сил, водоизмещение – 15 т (рис. 274).



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое тепловой двигатель?
2. Какие виды тепловых двигателей вы знаете?
3. Какой двигатель называют двигателем внутреннего сгорания?
4. Какие процессы происходят в течение четырёх тактов работы двигателя внутреннего сгорания?
5. Как устроена паровая турбина? Как она работает? Каково её назначение?
6. Объясните, как работают газовая турбина и реактивный двигатель.
7. Какие вредные вещества выбрасывают в атмосферу тепловые машины?  
К каким последствиям это приводит?

## **§ 51 ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ В МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССАХ**

При падении тела, поднятого над Землёй, его потенциальная энергия уменьшается, а кинетическая — увеличивается. При падении свинцового или пластилинового шарика на свинцовую плиту механическая энергия шарика уменьшается до нуля, но увеличивается внутренняя энергия шарика и плиты. В двигателе внутреннего сгорания автомобиля или трактора за счёт внутренней энергии топлива увеличивается механическая энергия подвижных частей двигателя.

**Механическая и внутренняя энергии тел могут превращаться друг в друга.**

Колёса водяной турбины вращаются за счёт кинетической энергии воды, а крылья ветряного двигателя — за счёт кинетической энергии ветра. При теплообмене внутренняя энергия одного тела изменяется за счёт изменения внутренней энергии другого (например, внутренняя энергия воды увеличивается за счёт уменьшения внутренней энергии нагретого куска железа, брошенного в воду).

Рассматривая пример смешивания горячей и холодной воды, выполнив соответствующие подсчёты, мы увидели, что количество теплоты, которую отдала горячая вода, равно количеству теплоты, которую получила холодная вода. Выполненная вами лабораторная работа «Изучение теплового баланса при смешивании воды разной температуры» подтвердила бы этот вывод, если бы вы выполняли её в условиях, не допускающих передачи тепла другим телам, кроме холодной воды, или учли бы всё количество теплоты, переданное всем телам.

**При теплообмене в системе контактирующих тел количество теплоты сохраняется.**

Наблюдения и опыты привели к открытию закона сохранения и изменения энергии.

**Энергия не исчезает и не создаётся из ничего. Она только превращается из одного вида в другой, при этом полное значение её сохраняется.**

Дополнительная энергия у тела может возникнуть только вследствие его взаимодействия с другим телом. Энергия воды океанских течений или ветра возникает за счёт энергии Солнца; потенциальная и кинетическая энергии ракеты — за счёт внутренней энергии топлива, израсходованного на её запуск и полёт.

Закон сохранения и изменения энергии — один из основных законов природы. Этот закон всегда нужно учитывать в науке и технике, с его помощью можно объяснить множество явлений природы.



### **ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ**

1. В чём заключается закон сохранения энергии в механических и тепловых процессах?
2. Приведите примеры преобразования энергии одного вида в другой.
3. За счёт чего движется автомобиль по дороге, ракета — в космическом пространстве, лодка — по воде?

## § 52 КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ (КПД) НАГРЕВАТЕЛЯ

Для оценки любого нагревателя очень важно знать, какую часть энергии, выделяющейся при сгорании топлива (или работы электронагревателя), он превращает в полезную работу. Чем больше эта часть энергии, тем более экономичен нагреватель. Для характеристики экономичности разных нагревателей вводят понятие **коэффициента полезного действия (КПД) нагревателя**.

**Отношение той части энергии, которая расходуется на выполнение полезной работы нагревателя, ко всей энергии, выделяющейся вследствие сгорания топлива (или при работе электрического нагревателя), называется коэффициентом полезного действия (КПД) нагревателя.**

КПД обозначают малой греческой буквой  $\eta$  (эта) и обычно выражают в процентах (%).

$$\eta = \frac{A_k}{Q},$$

где  $\eta$  — коэффициент полезного действия нагревателя;  $A_k$  — выполненная полезная работа;  $Q$  — полная тепловая энергия, выделенная нагревателем.

Определим, например, КПД спиртовки, газовой горелки или другого нагревателя. При сжигании массы  $m_t$  топлива выделяется энергия, которую определим по формуле:  $Q_2 = qm_t$ .

Эта энергия идет, например, на нагревание тела массой  $m$ , т. е. на выполнение полезной работы:  $A_k = Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ .

Определим КПД по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\% = \frac{cm(t_2 - t_1)}{qm_t} \cdot 100\%.$$

Если используем электрический нагреватель определённой мощности, то энергия, которая выделяется во время его работы, определяется по формуле:  $Q_2 = Pt$ , где  $P$  — мощность электрического нагревателя;  $t$  — время работы нагревателя.

Тогда КПД нагревателя будет определяться так:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100\% = \frac{cm(t_2 - t_1)}{Pt} \cdot 100\%.$$

КПД нагревателя всегда меньше единицы (или меньше 100 %).



### ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое коэффициент полезного действия нагревателя?
2. Расскажите, как определяют коэффициент полезного действия нагревателя?

**ЛАБОРАТОРНАЯ  
РАБОТА № 14**
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО  
ДЕЙСТВИЯ (КПД) НАГРЕВАТЕЛЯ**

- **Цель работы:** убедиться на опытах в том, что полезная работа, затраченная на нагревание жидкости, меньше полной энергии, выделенной при полном сгорании топлива, и определить коэффициент полезного действия нагревателя.
- **Приборы и материалы:** спиртовка (сухое топливо), штатив с муфтой и лапкой, сосуд с водой или другой жидкостью, термометр, весы, набор гирь (динамометр).

**Ход работы**

1. Определите с помощью весов (динамометра) массу спиртовки с топливом  $m_1$ . Этот и все следующие результаты занесите в таблицу.

$m_1$ , кг	$m_2$ , кг	$\Delta m$ , кг	$m$ , кг	$c$ , Дж кг · °С	$q$ , Дж кг · °С	$t_1$ , °С	$t_k$ , °С	$\eta$ , %

2. Сосуд с водой закрепите в штативе. Под сосудом разместите спиртовку.
3. Измерьте термометром температуру воды в сосуде  $t_1$ .
4. Зажгите спиртовку. Нагрейте воду массой  $m = 100$  г до температуры кипения  $t_k$ .
5. Погасите спиртовку. Снова определите массу спиртовки с топливом  $m_2$ .
6. Определите массу использованного топлива  $\Delta m = m_1 - m_2$ .
7. По таблице 11 (с. 204) определите удельную теплоту сгорания топлива  $q$ .
8. По формуле  $\eta = \frac{cm(t_k - t_1)}{\Delta m q} \cdot 100\%$  определите КПД спиртовки.
9. Сделайте выводы.

**ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ**
**➤ Решаем вместе**

1. Почему радиатор является системой многих тонких трубок, а не сплошным резервуаром (рис. 275)?

Ответ: чтобы обеспечить достаточный теплоотвод от двигателя автомобиля за счёт увеличения площади теплообмена.

2. В каком тепловом двигателе струя пара или газа, нагретого до высокой температуры, вращает вал двигателя без помощи поршня, шатуна и коленчатого вала?

Ответ: в паровой турбине.

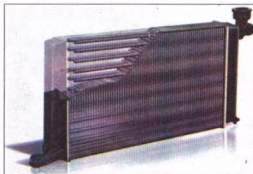


Рис. 275



Рис. 276

### Уровень А

433. Как работают и чем отличаются друг от друга многочисленные тепловые двигатели в современной промышленности?
434. Почему трубы радиатора автомобильного или тракторного двигателя изготавливают из латуни или алюминия?
435. Почему при работе двигателей внутреннего сгорания температура воды в радиаторах повышается?
436. С какой целью трубы радиатора обдувают быстрым потоком воздуха с помощью вентилятора, причем вентилятор втягивает воздух снаружи вглубь капота двигателя, а не выдувает его из-под капота через радиатор?
437. Почему в систему охлаждения двигателя внутреннего сгорания нужно заливать чистую воду?
438. Зачем наливается вода в рубашку двигателя? Почему именно вода?
439. Почему в мотоциклетных и авиационных двигателях охлаждение воздушное? Как обеспечивается нормальное охлаждение этих двигателей?
440. Какие особенности двигателей внутреннего сгорания способствуют их широкому применению на транспорте, в промышленном и сельском хозяйстве?
441. Как называется тепловой двигатель, в цилиндре которого периодически сгорает топливная смесь?
442. Сколько рабочих ходов происходит в четырёхцилиндровом двигателе за один оборот коленчатого вала?
443. Какой вид механической энергии водяного пара используется в паровых турбинах?
444. Почему паровые турбины развивают большую скорость вращения вала?
445. Автомобиль (рис. 276), на котором установлен мощный двигатель, развивает на соревнованиях скорость  $1000 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ . Какое расстояние проедет автомобиль за 5 с, двигаясь равномерно?
446. Троллейбус затормозил и остановился. Какие изменения энергии произошли при этом?
447. Частыми ударами молотка можно разогреть кусок металла. На что затрачивается при этом механическая энергия?
448. Назовите, какая энергия уменьшается, а какая — соответственно — воз-

растает при:

- а) работе теплового двигателя;
- б) нагревании воды в котле;
- в) езде на велосипеде;
- г) движении автомобиля по инерции.



Рис. 277

### Уровень Б

449. При сильном перегреве двигателя внутреннего сгорания возможно так называемое заклинивание — невозможность движения поршней из-за увеличения их размеров. Что является причиной такого заклинивания?
450. Почему мощность двигателя при наличии глушителя уменьшается?
451. Почему в паровой турбине температура отработанного пара ниже, чем температура пара, поступающего на лопасти турбины?
452. В каком тепловом двигателе энергия топлива непосредственно превращается в механическую энергию движущегося аппарата?
453. При сжигании топлива в камере сгорания реактивного двигателя образуются газы, которые под высоким давлением и с большой скоростью вытекают через отверстие (сопло) в задней стенке камеры. Какие тела взаимодействуют при этом? Какова причина движения ракеты? Мог бы двигаться реактивный двигатель, если бы камера сгорания не имела отверстия?
454. Космические ракеты значительную часть своего пути двигаются за пределами земной атмосферы. Объясните, почему движение ракет возможно в безвоздушном пространстве (рис. 277).
455. Сколько людей лишает кислорода автомобиль, движущийся в течение 4 ч со скоростью  $80 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$ ? Суточную норму кислорода для одного человека он потребляет на участке пути 2,5 км.
456. Современный реактивный лайнер за 1 ч полёта сжигает 8 т кислорода. На сколько беднее кислородом станет воздух, если такой самолёт пролетит расстояние 2550 км со скоростью  $850 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ?
457. Рассмотрите внимательно бытовой холодильник (рис. 278) и ответьте на вопросы.
  - а) Почему холодильники красят в белый или другой светлый цвет?
  - б) Почему морозильная камера размещена в верхний его части?
  - в) Почему пространство между внешней и



Рис. 278



внутренней стенками холодильника заполнено пенопластом — пористым материалом, плохо проводящим тепло?

г) Для чего используется система трубок, размещённая на задней стенке холодильника?

458. Оси машин и механизмов при работе нагреваются. В чём причина этого нагревания и какие способы её устранения? Какие изменения энергии происходят при этом?

459. Существует такой способ сварки некоторых деталей: на токарном станке одну деталь закрепляют в задней бабке станка, а вторую, прижимая к первой, быстро вращают вместе со шпинделем. Когда место касания деталей нагревается до плавления, детали прижимают и сваривают. Объясните, какие изменения энергии происходят при этом.

460. Затачивая на точиле зубило, приходится несколько раз погружать его в воду. Для чего это делают? Какие изменения энергии происходят при этом?

### ИСТОРИЧЕСКАЯ СПРАВКА

Первый тепловой двигатель — еолипил был сконструирован древнегреческим учёным Героном Александрийским, жившим в I в. (рис. 279). Этот прибор представлял собой металлический шар с двумя согнутыми трубками. В шар наливали воду и разводили под ней огонь. Когда образовавшийся пар выходил из трубок, то шар начинал вращаться.

К середине XVIII в. любая работа выполнялась лишь силой мышц человека или домашних животных, а также естественными силами ветра и падающей воды. История изобретения работающей паровой машины довольно длинная. Одним из первых паровых насосов, предназначенных для откачивания воды из шахт, был насос, сконструированный в конце XVII в. англичанином Севери (рис. 280).

Принцип работы насоса Севери состоит в следующем. Из котла *B* пар через трубку *D* и кран *C* поступает в резервуар *S* и вытесняет из него воду через клапан *a* и трубку *A*. После этого резервуар *S* отключали от котла и охлаждали водой. Пар конденсировался в резервуаре, в результате чего по трубке *F* вода всасывалась и



Рис. 279

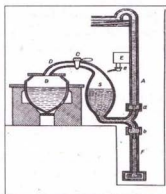


Рис. 280

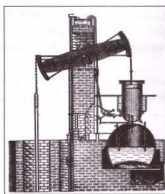


Рис. 281

через клапан *b* поступала в резервуар *S*, откуда она снова вытеснялась паром по трубке *A*. Паровой насос Севери распространился в начале XVIII в., усовершенствованные его варианты применялись на шахтах вплоть до середины XIX в.

Более совершенную паровую машину (так называемую атмосферную машину) сконструировал в 1705 г. английский кузнец Т. Ньюкомен. Машина Ньюкомена (рис. 281) уже имела основные детали паровой машины – цилиндр и поршень. Эта машина работала таким образом. В цилиндр с поршнем через трубку с краном поступал пар из парового котла и своим давлением поднимал поршень в верхнее положение. Потом кран перекрывался, отделяя тем самым цилиндр и паровой котёл. В цилиндр через второй кран, который теперь открывался, впрыскивалась холодная вода. Пар конденсировался, и под действием атмосферного давления поршень опускался вниз. Потом процесс повторялся. Таким образом, плечо коромысла, соединённое с поршнем, то поднималось, то опускалось. В то время второе плечо коромысла приводило в движение насос, откачивающий воду.

Машины Севери и Ньюкомена имели два важных недостатка: во-первых, машина выполняла работу лишь при движении поршня в одном направлении, а, во-вторых, нужно было всё время закрывать и открывать краны, т. е. машина работала не автоматически.



Рис. 282

В 1765 г. английский изобретатель Джеймс Уатт сконструировал паровую машину (рис. 282), которая имела один цилиндр с поршнем. Пар впускался попеременно то с одной стороны поршня, то с другой, что достигалось применением специального механизма.

Известен интересный случай с машиной Уатта. Однажды владелец небольшой шахты договорился с Д. Уаттом о том, что изобретатель поставит свою паровую машину для откачивания воды из шахты. До этого времени такую работу на шахте выполняли лошади.

– Ваша машина должна за час выкачивать воды не меньше, чем моя лошадь, – сказал владелец.

– Хорошо, – согласился Уатт. – Если так, то мощность вашей лошади примем за единицу.

В день испытаний лошадь упала от усталости. С того времени в технике существует такая единица мощности – лошадиная сила. Уатт измерил эту единицу мощности, установив, что за 1 мин обычная лошадь поднимает груз массой 60 кг на высоту 67,5 м. Имя Уатта увековечено в названии единицы мощности – один ватт.

**Контрольные вопросы**

1. Как можно изменить внутреннюю энергию тела?
2. Почему теплопроводность рыхлого снега меньше, чем слежавшегося?
3. В какое время суток ветер дует в сторону моря, а в какое – на сушу?
4. Почему скафандры космонавтов и астронавтов делают серебристо-белого цвета?
5. Нужно нагреть 1 кг воды и 1 кг масла на 1 °С. На что нужно затратить больше энергии?
6. В каком состоянии находится серебро при температуре 900 °С?
7. Можно ли получить пар золота?
8. Почему в зарядах используют порох, а не другие горючие вещества?
9. Какое топливо является наиболее энергетическим?
10. Какой двигатель эффективнее: дизельный или карбюраторный?
11. Какие изменения энергии происходят в реактивном двигателе?
12. Какими способами можно увеличить КПД двигателя?

**Что я знаю и умею делать**

**Я знаю, как можно изменить внутреннюю энергию тела.**

1. Назовите способ изменения внутренней энергии тела в таких случаях: а) внутренняя энергия тела увеличивается, если выполняется работа над телом; б) процесс, при котором происходят изменения внутренней энергии, а работа не выполняется; в) внутренняя энергия тела уменьшается, когда тело выполняет работу.
2. 1 кг воды и 1 кг железа нагрели на 1 °С. На сколько изменилась их внутренняя энергия и как это изменение объяснить с точки зрения молекулярного строения вещества?

**Я умею рассчитывать количество теплоты, необходимое для нагревания, плавления и испарения тела, а также количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании топлива.**

3. Какое количество теплоты нужно для нагревания чугунной подошвы утюга от 20 до 320 °С, если её масса равна 2 кг?
4. Можно ли расплавить 12 кг олова, затратив 120 000 кДж энергии?
5. Какую энергию нужно затратить, чтобы испарить при температуре кипения 3 кг воды, взятой при температуре 20 °С?
6. Хватит ли 100 г бензина, чтобы довести до кипения 0,5 кг воды, взятой при 20 °С? КПД нагревателя равен 25 %.

**Я умею строить графики.**

7. В алюминиевом чайнике нагревают воду. Постройте схематические графики зависимости количества теплоты от времени нагревания а) чайника; б) воды.

**Я знаю, какие бывают виды тепловых двигателей.**

8. Чем отличается двигатель внутреннего сгорания от реактивного?

**Я умею выполнять опыты.**

9. Налейте в большую кастрюлю воды и доведите её до кипения. Поместите в неё меньшую кастрюлю с холодной водой. Закипит ли вода в малой кастрюле? Обоснуйте результат.

10. В воду при температуре  $0^{\circ}\text{C}$  бросьте лёд, температура которого такая же, как и воды. Изменится ли температура воды? Почему?

**Я знаю, как происходят изменения энергии.**

11. Объясните, почему колесо турбинки вращается (рис. 283).  
12. Какие изменения энергии происходят в газовой турбине?

### Тестовые задания

#### Вариант I

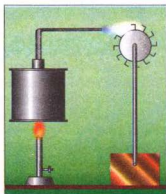


Рис. 283

- Какое движение называют тепловым?
  - Упорядоченное движение частиц, из которых состоят тела.
  - Беспорядочное движение частиц, из которых состоят тела.
  - Прямолинейное движение тела.
  - Неравномерное движение тел.
- Железнодорожные рельсы или другие металлические балки изготовляют способом проката. Для этого разогретую до белого каления стальную отливку пропускают между катками-валцами, на поверхности которых есть канавки, соответствующие форме рельса, и он, деформируясь, приобретает нужную форму. Стальную отливку пропускают сквозь валцы несколько раз, не нагревая его дополнительно. За счёт чего поддерживается нужная температура стали во время проката?
  - За счёт выполняемой механической работы.
  - За счёт внутренней энергии.
  - За счёт теплопроводности.
  - Правильного ответа нет.
- Почему глубокий рыхлый снег защищает озимь от вымерзания?
  - Так как он имеет высокую теплопроводность.
  - Так как он имеет низкую теплопроводность.
  - В рыхлом снеге много воздуха, который плохо проводит тепло.
  - Правильного ответа нет.
- Изменяется ли температура тела, если оно поглощает тепла больше, чем излучает?
  - Тело нагревается.
  - Тело охлаждается.
  - Температура тела не изменяется.
  - Правильного ответа нет.
- Количеством теплоты называют внутреннюю энергию, которую ...
  - тело получает от другого при теплообмене;
  - имеет тело;
  - тело получает или теряет при теплообмене;
  - получает тело при выполнении над ним работы.
- Свинец плавится при температуре  $327^{\circ}\text{C}$ . Что можно сказать о температуре кристаллизации (отвердевания) свинца?
  - Она также равна  $327^{\circ}\text{C}$ .
  - Она ниже температуры плавления.
  - Она выше температуры плавления.
  - Правильного ответа нет.
- Испарение происходит...
  - только при температуре кипения;
  - при любой температуре;

- в) при определённой температуре для каждой жидкости;  
г) при высоких температурах.
8. Вследствие полного сгорания сухих дров выделилось 50 000 кДж энергии. Сколько дров сгорело?  
А. 50 кг. Б. 0,5 кг В. 5 кг. Г. 500 кг.
9. Горючая смесь, поступающая в цилиндр двигателя автомобиля, состоит из...  
А. разных видов жидкого топлива. Б. смеси керосина с воздухом. В. воздуха и паров бензина. Г. масла и бензина.
10. Шарик, поднятый на некоторую высоту, падает в песок и застревает в нём. Изменения каких видов энергии при этом происходят?  
А. Потенциальной и кинетической.  
Б. Потенциальной и внутренней.  
В. Кинетической и внутренней.  
Г. Потенциальной, кинетической и внутренней.
11. При ударе молотом об наковальню выполнена работа 15 Дж. Какое количество внутренней энергии получила наковальня?  
А. Менее чем 15 Дж. Б. 15 Дж. В. Более чем 15 Дж. Г. Правильного ответа нет.
12. Имеем газовую горелку и спиртовку. КПД какого из двух нагревателей больше?  
А. Спиртовки. Б. Газовой горелки. В. Одинаковые. Г. Правильного ответа нет.

### Вариант II

1. Изменяется ли внутренняя энергия воды в море с наступлением ночи?  
А. Увеличивается.  
Б. Уменьшается.  
В. Не изменяется.  
Г. Правильного ответа нет.
2. При деформации тела изменилось только взаимное расположение молекул. Изменились ли при этом температура тела и его внутренняя энергия?  
А. Температура тела увеличилась, а внутренняя энергия не изменилась.  
Б. Температура и внутренняя энергия тела не изменились.  
В. Температура тела не изменилась, а внутренняя энергия увеличилась.  
Г. Правильного ответа нет.
3. Сидя у костра, мы согреваемся, ощущаем, как передаётся тепло от костра к нашему телу. С каким видом теплообмена мы имеем дело?  
А. Теплопроводностью.  
Б. Конвекцией.  
В. Излучением.  
Г. Теплопроводностью и излучением.
4. Можно ли предусмотреть, какое направление будет иметь ветер у моря в знойный летний день?  
А. Нельзя.  
Б. С моря на сушу.  
В. С суши на море.  
Г. Правильного ответа нет.

5. Количество теплоты, которое тратится на нагревание тела, зависит от...
- а) массы, объёма и рода вещества.
  - б) значения изменения температуры, плотности и рода вещества.
  - в) рода вещества, его массы и значения изменения температуры.
  - г) массы тела, его плотности и значения изменения температуры.
6. В лунную ночь на её поверхности ночью температура опускается до  $-170^{\circ}\text{C}$ . Пригодны ли для измерения температуры на Луне ртутный и спиртовый термометры?
- А. Не пригоден ни один из них.
  - Б. Пригоден только спиртовый.
  - В. Пригоден только ртутный.
  - Г. Правильного ответа нет.
7. Испаряется ли вода в открытом сосуде при  $0^{\circ}\text{C}$ ?
- А. Испаряется. Испарение происходит при любой температуре.
  - Б. Не испаряется, так как при  $0^{\circ}\text{C}$  вода замерзает.
  - В. Не испаряется, так как образование пара происходит при кипении.
  - Г. Правильного ответа нет.
8. Сожгли  $0,2\text{ кг}$  водорода. Какое количество воды можно нагреть от  $0$  до  $100^{\circ}\text{C}$ ?
- А.  $65\text{ кг}$ .
  - Б.  $70\text{ кг}$ .
  - В.  $40\text{ кг}$ .
  - Г.  $57\text{ кг}$ .
9. Двигатель внутреннего сгорания работает на...
- а) нефти; б) каменном угле; в) бензине; г) керосине.
10. Какие изменения энергии происходят во время падения метеорита?
- А. Потенциальной и кинетической.
  - Б. Потенциальной и внутренней.
  - В. Кинетической и внутренней.
  - Г. Потенциальной, кинетической и внутренней.
11. При торможении поезда была выполнена работа  $150\,000\text{ кДж}$ . Какое количество теплоты выделилось в тормозах?
- А. Менее  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - Б. Больше  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - В.  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - Г. Правильного ответа нет.
12. На практике используют установки, в которых применяют водород и природный газ. У какой из них больший КПД?
- А. У той, что работает на водороде.
  - Б. У той, что работает на природном газе.
  - В. Одинаковые.
  - Г. Правильного ответа нет.



## **ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ВОКРУГ НАС**

1. Лётчик посадил спортивный самолёт на крышу грузового автомобиля. При каких физических условиях это возможно?
2. На винт навинчивается гайка. Какова траектория движения центра гайки?
3. Какую форму имеют траектории движения детей, вращающихся на карусели?
4. Какого вида движения осуществляют разные части швейной машины?
5. Пассажир рассказывает: «Наш автобус двигался с малой скоростью. Я посмотрел в окно и увидел, как мимо меня промелькнули передние двери, окна и задние двери другого автобуса. Почему это наш автобус дал задний ход, спросил я мысленно, но, взглянув в сторону тротуара, убедился, что автобус едет вперёд». Объясните причину такого впечатления. На основе чего пассажир сделал вывод, что его автобус ехал вперёд?
6. Мотоциклист движется в направлении ветра со скоростью  $10 \frac{м}{с}$ . Будет ли он ощущать ветер, у которого такая же скорость?
7. Почему тяжело расколоть орех на мягкой опоре и легко – на твёрдой?
8. Почему капли дождя при резком встряхивании слетают с одежды?
9. Существуют два способа раскалывания полена. В первом случае по полену ударяют быстродвижущимся топором. Во втором – лёгким ударом загоняют топор в полено, а потом, подняв топор с насаженным поленом, бьют обухом об бревно. Объясните явления, которые при этом наблюдаются.
10. Строитель, держа на ладони кирпич, ударяет по нему молотком. Почему он не ощущает боли в руке от удара молотка?
11. Всадник быстро скачет на коне. Что произойдёт с всадником, если конь споткнётся?
12. Посреди бассейна плавает мяч. Чтобы приблизить его к краю бассейна, мальчик палкой создаёт волны. Достигнет ли он цели таким образом? Ответ обоснуйте.
13. Можно ли пользоваться маятниковыми часами в состоянии невесомости?
14. Почему в пустой комнате хорошо слышно даже шёпот?
15. В хоре иногда вторые голоса слышно лучше, чем первые, хотя высота тона их ниже. Объясните, почему так.
16. Почему, наблюдая на расстоянии за работой плотника, сначала видим удар топора по дереву, а потом слышим звук удара?
17. Может ли возникнуть эхо в степи?
18. Почему вода всегда течёт с высшего уровня к низшему?
19. Почему капли дождя падают на Землю быстрее, чем мелкие капельки тумана?
20. При изготовлении гири в ней высверливают небольшое углубление, в которое запрессовывают свинцовую или медную пробку. Для чего это делают?
21. Изменяется ли плотность воздуха в кабине космического корабля или станции в состоянии невесомости?
22. Предложите способ измерения силы, с которой игрушечный автомобиль тянет по столу деревянный брусок.
23. Почему мел оставляет след на классной доске?
24. Почему металлические ступени (стремянки, подножки трамвая, вагона поезда) не гладкие, а имеют рельефные выступы?
25. Почему кусок хозяйственного мыла легче разрезать крепкой нитью, чем ножом?
26. Почему медицинские иглы полируют до зеркального блеска?
27. Почему тяжело держать в руках живую рыбу?
28. На автомобиле с прицепом нужно перевезти массивный груз. Где его лучше поместить: в кузове автомобиля или прицепа? Почему?
29. Члены экипажа космического корабля «Аполлон-12» Ч. Конрад и А. Бин рассказывали, что по Луне легко ходить, но они часто теряли равновесие, так как

даже при небольшом наклоне вперёд можно было упасть. Объясните это явление.

30. Почему приятнее класть голову на подушку, чем на наклонную деревянную доску?
31. Почему буря, которая валит живые деревья летом, не может свалить высохшее дерево, которое стоит рядом?
32. К человеку, под которым раскололся лёд, подходить нельзя. Для его спасения кидают канат, кладут стремянку или длинную доску. Объясните, почему таким способом можно спасти человека.
33. Для чего затачивают долота, пилы и другие режущие инструменты?
34. При работе новым напильником приходится прикладывать большие усилия, чем при пользовании старым. Почему же все-таки пользуются новым напильником?
35. Объясните, как наждачной бумагой шлифуют металлические предметы.
36. Почему лимонад или минеральная вода в закрытой бутылке «спокойны», а если открыть бутылку, то сразу начинают «кипеть»?
37. Каким простым способом можно удалить вмятину в мяче для настольного тенниса?
38. В нефтяной промышленности для откачивания нефти на поверхность применяется сжатый воздух, который компрессорами нагнетается в поверхностное пространство нефтеносного пласта. Действие какого физического закона проявляется при этом?
39. Будет ли действовать гидравлический пресс на Луне так же, как и на Земле?
40. Почему вода из ванны вытекает быстрее, если в неё погружается человек?
41. Почему пловец, погрузившийся на большую глубину, ощущает боль в ушах?
42. Почему чайник с коротким носиком неудобен?
43. Почему иногда на верхних этажах дома вода не течёт из кранов водонапорной сети, тогда как она течёт из кранов на нижних этажах?
44. Почему человеку приходится прикладывать значительные усилия, чтобы вытянуть ногу из болотистого грунта, а парнокопытные животные легко с этим справляются?
45. Почему вода из опрокинутой бутылки выливается рывками, с бульканьем, а из резиновой медицинской грелки – равной сплошной струей?
46. Почему в ртутном барометре чашка намного шире трубки?
47. Можно ли считать медицинский шприц насосом?
48. Какое строение клапанов, которые дают возможность нагнетать воздух насосом в велосипедную шину, и где они размещены?
49. Для действия всасывающего водяного или воздушного насоса нужны меньшие усилия, чем в случае нагнетательного. Почему?
50. Собака-спасатель легко передвигает в воде тонущего человека, однако на берегу она не может сдвинуть его с места. Почему?
51. Для подводных лодок устанавливается глубина, ниже которой они не должны опускаться. Чем объясняется такое ограничение?
52. Какие выводы можно сделать о значении архимедовой силы, выполняя соответствующие опыты на Луне, где сила тяжести в 6 раз меньше, чем на Земле?
53. Подтверждается ли действие закона Паскаля и архимедовой силы на искусственных спутниках Земли?
54. Человек лежит неподвижно на воде на спине и делает глубокие вдох и выдох. Как изменяется при этом положение тела человека относительно поверхности воды? Почему?
55. Может ли спасательный круг удержать любое количество людей, которые за него ухватились?
56. Как изменился бы уровень воды в океане, если бы растаяли все айсберги?
57. Почему молоко опускается на дно стакана, когда его доливают в чай?
58. Почему нельзя гасить горящий керосин, заливая его водой?
59. Лактометром определяют плотность молока. В каком молоке: с большим или меньшим содержанием жира – лактометр погрузится глубже? Почему?
60. Можно ли пользоваться земными ареометрами на Луне?
61. Водород и гелий под действием силы тяжести должны опускаться вниз. Но наполненные ими летательные аппараты (дирижабли, зонды, аэростаты) поднимаются вверх. Как объяснить такое противоречие?

62. Можно ли на Луне для передвижения астронавтов использовать воздушные шары?
63. Выполняет ли лошадь механическую работу, увеличивая скорость движения телеги?
64. Почему корабль с грузом движется медленнее, чем без груза? Мощность двигателей в обоих случаях одинакова.
65. Почему плечи коромысла весов никогда не делают короткими?
66. Как известно, неподвижный блок выигрыша в силе не даёт. Однако при проверке динамометром оказывается, что сила, которая удерживает груз на неподвижном блоке, немного меньше силы тяжести, которая действует на груз, а при равномерном подъёме — больше неё. Чем это можно объяснить?
67. Почему в подъёмных строительных кранах крюки, на которых переносят грузы, закреплены не на конце троса, а на обойме подвижного блока?
68. Осуществлять прыжок в высоту легче «перекатом», чем «прямо». Почему?
69. Автомобиль спускается с горы с отключённым двигателем. За счёт какой энергии движется при этом автомобиль?
70. С помощью понтонов поднимают со дна моря затонувший корабль. За счёт какой энергии происходит этот подъём?
71. За счёт какой энергии поднимается аэростат или зонд для исследования верхних слоёв атмосферы?
72. Водителю нужно переехать на автомобиле лужу с болотистым дном. Он решил разогнать автомобиль и на большой скорости преодолеть ее. Правильно ли он сделал?
73. Почему у грузовых автомобилей должны быть тормоза «мощнее», чем у легковых?
74. Гимнаст сначала прыгает на гибкую доску – трамплин, а потом – вверх. Почему в этом случае прыжок получается выше, чем прыжок без трамплина?
75. Почему иногда автомобиль не может въехать на гору, если он у подножия не разгонится (не приобретёт соответствующую скорость)?
76. Какой ветер, зимний или летний, при одной и той же скорости имеет большую мощность?
77. Почему при недостаточном смазывании выходят из строя шатунные и коренные подшипники трактора?
78. Чем объясняется значительное нагревание колёс автомобиля при продолжительной поездке?
79. Механизаторы при сборе урожая внимательно следят, чтобы солома не накручивалась на валы комбайна. Почему?
80. Когда автомобиль затрачивает больше горючего: при поездке без остановок или с остановками?
81. Почему внешние части сверхзвуковых самолётов приходится охлаждать с помощью специальных аппаратов?
82. Когда космический корабль больше нагревается: при запуске или посадке на Землю?
83. В каком сосуде – медном или чугунном – чаще подгорают продукты при их при приготовлении? Почему?
84. Почему металлическая чашка с чаем обжигает губы, а фарфоровая чашка с чаем нет?
85. При какой температуре и дерево, и металл будут казаться при прикосновении одинаково нагретыми?
86. Какая почва прогреется солнечными лучами быстрее: влажная или сухая?
87. Какое назначение толстого пласта подкожного жира у китов, тюленей и других животных, обитающих в полярных водах?
88. Человек не ощущает прохлады на воздухе при температуре 20 °С, а в воде ощущает ее при температуре 25 °С. Почему?
89. В каком случае быстрее остынет чайник с кипятком: если он стоит на льду или если лёд положили на крышку чайника?
90. Почему тонкая полиэтиленовая плёнка защищает растения от ночных заморозков?
91. Почему листва осины «трепещет» даже в безветренную погоду?

92. Почему трубу, по которой вода возвращается в котёл водяного отопления, подводят к нему снизу, а не сверху?
93. Экономично ли изготавливать радиаторы парового отопления хорошо отполированными, не лучше ли их красить в чёрный цвет?
94. Почему в холодную погоду некоторые животные спят, свернувшись в клубочек?
95. Почему термосы изготавливают круглого, а не квадратного сечения?
96. Земля непрерывно излучает энергию в космическое пространство. Почему же Земля не замерзает?
97. Как воспользоваться для измерения температуры воздуха термометром, на шкале которого сохранились только два деления: 20 и 40 °C?
98. Островной климат умереннее и ровнее, чем климат больших материков. Почему?
99. Почему в пустынях днём жарко, а ночью температура воздуха падает ниже 0 °C?
100. Какие преимущества имеет ртуть перед другими жидкостями (спирт, эфир), что позволяет применять её в термометрах?
101. Почему внутренние сосуды калориметров изготавливают из тонкой латуни или алюминия, а не из стекла?
102. Почему соль, которую бросили на раскалённый уголь, трещит?
103. Как проще всего определить, какое из двух тел твёрже?
104. Расплавится ли небольшой кусочек олова, если его бросить в тигель с расплавленным свинцом?
105. Где ноги в обуви замерзают больше: на заснеженном тротуаре или на том же тротуаре, но посыпанном солью?
106. Почему морской лёд, образующийся из солёной воды, в дальнейшем становится почти совсем пресным?
107. Почему мокрые пальцы зимой примерзают к металлическим предметам и не примерзают к деревянным?
108. Как объяснить, что в начале осени в реках и озерах вода не замерзает, хотя температура воздуха на несколько градусов ниже 0 °C?
109. Почему тёплым зимним днём лыжи оставляют на свежем снегу лыжню?
110. Ускорится ли таяние льда в тёплой комнате, если накрыть его шубой?
111. Почему в сильный мороз для восстановления гладкости льда каток поливают горячей водой?
112. Чем объяснить, что в сильный мороз в лесу трещат деревья?
113. Для осушения болот в субтропиках сажают эвкалипты. Куда девается вода, которую они поглощают?
114. Почему глина, мучное тесто при нагревании не становятся мягкими, а твердеют?
115. Что охлаждается быстрее в одинаковых условиях: жирный суп или чай?
116. Чтобы молоко не скисло в знойный день, сосуд нужно поместить в воду и накрыть салфеткой, края которой погружены в воду. На чём основывается этот способ хранения молока?
117. Почему в сухом воздухе человек выдерживает температуру, превышающую 100 °C?
118. Почему летом на лугу после заката Солнца туман сначала появляется в низинах?
119. Для чего в крышке чайника делают дырочку?
120. Чем объяснить, что продолжительность варки картофеля, начиная с момента закипания, не зависит от мощности нагревателя?
121. Почему удельная теплота сгорания топлива сырых дров меньше, чем сухих той же породы?
122. Почему мы сильно дуем на пламя спички, свечи, когда хотим их погасить?
123. Раскалённый уголь, положенный на металлическую пластинку, быстро гаснет, а на деревянной доске продолжает тлеть. Почему?
124. На дне и крышке консервных банок штампуют концентрические круги (гофры). С какой целью это делают?
125. В каком случае газ в цилиндре двигателя имеет большую внутреннюю энергию: после проскакивания искры или в конце рабочего хода?

## СЛОВАРЬ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕРМИНОВ

**А**

**Амплитуда колебаний  $A$**  – это наибольшее отклонение тела от положения равновесия. Единицей амплитуды колебаний в СИ является один метр (1 м).

**Ареометр** – прибор для измерения плотности жидкости по глубине его погружения в неё.

**Атмосфера Земли** – воздушная оболочка вокруг Земли, вращающаяся вместе с Землёй как единое целое.

**Аэростат** – аппарат для воздухоплавания легче воздуха, наполняется водородом или гелием.

**Б**

**Барограф** – прибор для автоматической непрерывной записи изменений атмосферного давления.

**Барометр** – прибор для измерения атмосферного давления.

**Барометр-анероид** – безжидкостный прибор для измерения атмосферного давления.

**Батискаф** – глубоководный самоходный аппарат для проведения исследований в морях и океанах.

**Батисфера** – прочная стальная камера, оборудованная специальной аппаратурой для наблюдений под водой; опускается с корабля на стальном тросе.

**Блок** – простой механизм в форме колеса с жёлобом, через который перекинута цепь, трос или верёвка.

**В**

**Ватерлиния** – линия сечения корпуса судна поверхностью воды; показывает максимально допустимую осадку нагруженного судна.

**Вес тела  $P$**  – сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле действует на опору или подвес.

**Взаимодействие** – взаимное влияние тел или частиц, обуславливающее изменение состояния их движения. В механике количественной характеристикой взаимодействия являются сила и потенциальная энергия.

**Взвешивание тела** – процесс определения массы или веса тела с помощью весов.

**Винт** – простой механизм, разновидность наклонной плоскости.

**Внутренняя энергия тела** – энергия движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело. Внутреннюю энергию тела можно изменить путём выполнения работы или теплообмена.

**Г**

**Громкость звука** – физическая величина, являющаяся мерой слухового ощущения, вызванного звуком.

**Д**

**Давление  $p$**  – величина, определяемая отношением значения силы, действующей перпендикулярно к поверхности, к площади этой поверхности. Единицей давления является один паскаль (1 Па).

**Давление гидростатическое  $p$**  – давление жидкостей, обусловленное силой тяжести.

**Давление нормальное атмосферное** – давление атмосферы, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0 °С. Единицами атмосферного давления является 1 мм рт. ст., один паскаль (1 Па) и один гектопаскаль (1 гПа).

**Двигатели тепловые** – машины, в которых внутренняя энергия топлива превращается в механическую энергию. К тепловым двигателям относятся: паровая машина, двигатель внутреннего сгорания (карбюраторный, дизельный), паровая и газовая турбины, реактивный двигатель.

**Движение относительное** – движение тела относительно других тел. Все тела природы находятся в движении, поэтому всякое движение или покой являются относительными, т. е. состояние тела зависит от того, относительно какого тела это состояние рассматривают.

**Движение равномерное** – движение, при котором тело за любые одинаковые интервалы времени проходит одинаковые пути.

**Движение равномерное по окружности** – движение по окружности со скоростью, постоянной по значению, но изменяющейся по направлению.

**Движение тепловое** – беспорядочное движение молекул и атомов, которое определяет температуру тела.



**Деформация** – физическое явление изменения формы или размеров твёрдого тела под действием внешних сил, изменения температуры и т. п.

**Динамометр** – прибор для измерения сил.

**И**

**Излучение** – вид теплообмена, который не нуждается в промежуточной среде между телами и обусловлен испусканием и поглощением ими тепловых лучей.

**Инерция** – явление сохранения скорости движения тела при отсутствии действия на него других тел.

**К**

**Калориметр** – прибор для измерения количества теплоты, которое выделяется или поглощается в результате какого-либо физического процесса.

**Кипение** – интенсивное испарение жидкости не только с её свободной поверхности, но и во всём объёме внутри образующихся пузырьков пара.

**Колебания** – движения тел, которые точно или приблизительно повторяются через определенные интервалы времени.

**Колебания инфразвуковые (инфразвук)** – колебания, частота которых меньше минимальной частоты звуковых колебаний – 16 Гц.

**Колебания ультразвуковые (ультразвук)** – колебания, частота которых больше наивысшей частоты звуковых колебаний – 20 000 Гц.

**Количество теплоты  $Q$**  – мера внутренней энергии, переданной во время теплообмена от одного тела к другому без выполнения работы. Она зависит от вещества, из которого состоит тело, от массы этого тела и от разности его конечной и начальной температур. Единицей количества теплоты, как и энергии, является один джоуль (1 Дж).

**Конвекция** – процесс перенесения энергии струями жидкости или газа.

**Конденсация пара** – физический процесс перехода вещества из газообразного состояния (при температуре конденсации) в жидкое вследствие охлаждения пара.

**Коэффициент полезного действия (КПД) механизма  $\eta$**  показывает, какая часть энергии, которая подводится к механизму, идёт на выполнение им полезной работы.

**Коэффициент полезного действия (КПД) нагревателя  $\eta$**  – отношение той части энергии, которая затрачивается на выполнение полезной работы нагревателя, ко всей энергии, которая выделяется вследствие сгорания топлива или во время работы электрического нагревателя.

**Кристаллизация** – физический процесс перехода вещества из жидкого состояния (при температуре кристаллизации) в твёрдое вследствие охлаждения жидкости.

**М**

**Манометры** – измерительные приборы, предназначенные для измерения давления или разности давлений.

**Масса тела  $m$**  – физическая величина, характеризующая инертность тела. Единицей массы в СИ является один килограмм (1 кг).

**Машина** – механизм или сочетание механизмов для преобразования энергии одного вида в другой. В каждой машине имеются три основные части – рабочий орган, передающий механизм и двигатель. Наличие этих трёх частей отличает машину от других технических устройств.

**Механическая работа  $A$**  – работа, которая выполняется при перемещении тела под действием приложенной к нему силы. Она прямо пропорциональна приложенной к телу силе и расстоянию, на которое это тело перемещается в направлении действия этой силы. Единицей работы в СИ является один джоуль (1 Дж).

**Механическое движение** – изменение положения тела со временем относительно других тел.

**Мощность  $N$**  – физическая величина, определяемая отношением выполненной работы к затраченному времени. Единицей мощности в СИ является один ватт (1 Вт).

**П**

**Парообразование** – физический процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное, происходит при сообщении веществу определённого количества теплоты.

**Паскаль закон.** Давление, производимое на жидкость или газ внешними силами, передаётся жидкостью или газом одинаково во всех направлениях.



**Период колебаний  $T$**  – наименьший интервал времени, через который скорость и положение тела повторяются. Единицей периода колебаний в СИ является одна секунда (1 с).

**Период обращения  $T$**  – интервал времени, за который материальная точка делает один оборот при равномерном движении по окружности. Единицей периода обращения в СИ является одна секунда (1 с).

**Плавление** – физический процесс перехода вещества из кристаллического (твёрдого) состояния (при температуре плавления) в жидкое, сопровождается поглощением энергии.

**Плечо силы** – кратчайшее расстояние от оси обращения тела до линии действия силы.

**Пресс гидравлический** – это гидравлическая машина, предназначенная для прессования (сжатия) пористых тел (внутри которых есть пустоты).

**Простые механизмы** – устройства, предназначенные для преобразования силы. Ни один из простых механизмов не даёт выигрыша в работе: во сколько раз выигрываем в силе, во столько же раз проигрываем в расстоянии. Это утверждение называли «золотым правилом» механики.

**Путь** – длина траектории, описываемой телом во время движения на протяжении определенного интервала времени. Единицей пути в СИ является один метр (1 м).

**С**

**Сила** – физическая величина, мера взаимодействия тел и причина изменения их скоростей. Характеризуется направлением в пространстве, значением и точкой приложения.

**Сила Архимеда  $F_A$**  – сила, действующая на погружённое в жидкость или газ тело, направлена вертикально вверх, зависит от плотности жидкости или газа и объёма погружённой части тела.

**Сила упругости  $F_{упр}$**  – сила, возникающая при деформации тела и направленная противоположно направлению деформации.

**Сила трения  $F_{тр}$**  – сила, возникающая при взаимодействии между твёрдыми телами в местах их касания и препятствующая их относительному перемещению.

**Сила тяжести  $F_{тяж}$**  – сила, с которой Земля притягивает к себе тела.

**Скорость равномерного движения тела  $v$**  – физическая величина, определяется отношением пути, пройденного телом, ко времени его движения. Единицей скорости в

СИ является один метр в секунду ( $1 \frac{м}{с}$ ).

**Спидометр** – прибор для измерения скорости движения транспортных средств.

**Сообщающиеся сосуды** – соединённые между собой сосуды, в которых жидкость может свободно перетекать из одного сосуда в другой.

**Т**

**Тело отсчета** – тело, относительно которого рассматривают движение.

**Температура тела** – физическая величина, характеризующая интенсивность теплового движения молекул тела и пропорциональная средней кинетической энергии поступательного движения молекул тела.

**Теплообмен** – процесс изменения внутренней энергии тел без выполнения работы над ними и самими телами.

**Теплопроводность** – передача тепла от более нагретой к менее нагретой части тела вследствие теплового движения и взаимодействия частиц тела.

**Термометр** – прибор для измерения температуры путем его контакта с исследуемой средой.

**Траектория** – это мнимая линия, которую описывает тело во время движения.

**Ч**

**Частота колебаний  $\nu$**  – число колебаний в единицу времени. Единицей частоты колебаний в СИ является один герц ( $1 \text{ Гц} = 1 \frac{1}{с}$ ).

**Частота обращения  $n$**  – число оборотов, совершённых материальной точкой при равномерном движении по окружности за единицу времени. Единицей частоты обращения в СИ является единица, разделённая на секунду ( $1 \frac{1}{с}$ ).

## Ш

**Шлюз** – гидротехническое сооружение для перевода судов на реке или канале с одного уровня на другой.

## Э

**Энергия  $E$**  – физическая величина, определяющая способность тел выполнять работу. Единицей энергии в СИ является один джоуль (1 Дж).

**Энергия кинетическая  $E_k$**  – физическая величина, характеризующая энергию движения механической системы; зависит от скоростей движения и масс тел, входящих в эту систему.

**Энергия потенциальная  $E_p$**  – энергия, определяемая взаимодействием тел, зависит от взаимного расположения тел или отдельных частей тела.

**Энергии сохранения закон.** Энергия не исчезает и не создается из ничего. Она только превращается из одного вида в другой, при этом её полное значение сохраняется.

## ОТВЕТЫ К ЗАДАЧАМ И УПРАЖНЕНИЯМ

2. Примеры механического движения тел: ласточка ловит насекомых в воздухе; ветер поднял вверх лист бумаги. 4. Нельзя выбрать тело отсчета. 6. В покое. Двигается.

Прямая линия. 9. Равномерно прямолинейно. 11. Одинаково. 12.  $16 \frac{M}{C}$ . 13.  $10 \frac{M}{C}$ .

16. а) В покое; б) в движении; в) в движении. В покое относительно всех тел. 19. Окружности.

21. Легковой автомобиль двигался вдвое быстрее. 23. 320 ч. 24. 41 698 800 м =

= 41 698,8 км. 27. 81 000 км. 28. 2,56 с. 30. 1) 50 с; 2) 1000 м; 3)  $1,25 \frac{M}{C}$ ;  $5 \frac{M}{C}$ ;  $2,5 \frac{M}{C}$ .

33. По прямой линии. 34. 0,008 с. 35.  $74 \frac{M}{C}$ . 36. 50 Гц. 37.  $1,7 \frac{1}{C}$ ;  $0,84 \frac{M}{C}$ . 38. 0,40 м.

39.  $0 \frac{M}{C}$ ;  $5 \frac{M}{C}$ ;  $10 \frac{M}{C}$ . 44. Журчание ручья обусловлено звуком, возникающим при

лопании воздушных пузырьков в воде. 45. По ним стучат металлическим предметом (молотком, ложкой). 47. 0,0625 с; 0,00005 с. 48. Комар. 49. 3310 м = 3,13 км. 51. Вата поглощает звук. 53. Так как звук отражается от стен туннеля. 56. Инфразвуков; 0,11 с.

60. Так как воздух разрежён. 62. Мухи; 0,003 с; 0,5 с. 64. 50 с; 3 с. 65. Для поглощения звуков, доходящих до стен, и устранения шума. 66. Мы слышим гром длительное время,

так как звук, возникший при молнии, отражается от туч. 70. Мы не слышим отраженного звука. Вследствие многократного отражения звука от деревьев трудно определить

направление на источник звука. 74. Они воспринимают инфразвуковые колебания. 75. 2 175 м = 2,175 км. 78. Лодка будет двигаться от берега вследствие взаимодействия с человеком. 80. Когда человек идёт против ветра, то ощущает сопротивление. Человек взаимодействует с ветром и Землей. 82. Взаимодействием ружья и пули при выстреле. 84. Явления инерции. 86. Автобус повернул вправо. 89. Чтобы автомобиль, мотоцикл, велосипед не занесло на повороте. 91. 522 г 700 мг = 0,5227 кг. 92. Так как цена деления шкалы торговых весов составляет 50 г. 94. Рессоры разгибаются. 96. Так как собака имеет большую массу, то она более инертна. 98. Нужно взвесить, например, 10 гвоздей. Зная массу всех гвоздей и 10 гвоздей, можно определить их количество. 99. Нет необходимости. 101. Нужно взвесить 1 м провода, потом – моток провода. Чтобы знать длину провода в мотке, нужно массу всего провода поделить на массу 1 м провода. 103. Сила тяжести. 105. Сила тяжести. Град – воздух – Земля. 106. Чтобы не было перегрузки, которая может привести к разрыву тросов. 109. На молоток массой 1,4 кг; в 1,6 раза. 111. За счет силы упругости и силы тяжести. 113. 745,56 Н. 114. 98,1 Н. 115. 76,45 кг. 116. 49,05 Н. 117. Одинаковую. 118. Не всегда. 120. Под действием силы тяжести. 122. Жёсткостью. 123. 121,5 Н. 125. 24,5 см. 126. 2,45 Н. 127. 133 Н. 128. В 146 раз. 129. 37 кг. 130. Вес. 132. а) Одинаковые; б) одинаковые; в) разные.

134. Притягиваются. 135. 220 Н. 136. 70 Н. 137. Так как на шайбу действует сила трения скольжения. 140. Ткань распалась бы на нити. 142. Это связано с тем, что конькобежец переходит с одной поверхности на другую, на которых действуют разные силы трения скольжения. 144. Когда сила трения на оси колеса больше, чем сила трения скольжения. 145. Чтобы улучшить сцепление колеса с дорогой, т. е. увеличить силу трения качения. 150. 6 Н. 151. Нужно приложить силу к двум динамометрам одновременно. 154. Это связано с силой трения. 158. Чтобы увеличить силу трения. 160. Уменьшается сила трения. 163. Чтобы уменьшить силу трения при закручивании шурупов. 164. Для создания давления, при котором разрушается дерево, на большую площадь лезвия нужно действовать с большой силой. 166. Чтобы уменьшить давление локомотива на рельсы. 168. На ведро без деревянной ручки. 169.  $1 \text{ мм}^2$ . 170. Максимальное –  $60 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ ,

минимальное –  $6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . 171. Зайцу. 172. 2 400 Н. 173. Нужно, чтобы площадь, на которую действует сила, равнялась  $0,02 \text{ м}^2 = 200 \text{ см}^2$ . 175. 73,575 МПа. 177. 19,075 кПа; 38,150 кПа. 178. В 167 759 раз. 179. 450 м2. 180. 1 кН; 2 кН; 4 кН. 181. 4 893 кг. 184. За счет малой площади жала. 185. При резком увеличении давления внутри жидкости бутылка может лопнуть. 187. Так как на больших глубинах – высокое давление, которое может повредить здоровью водолаза. 190. 1 765,8 Па. 191. 9 417,6 Па. 192. 74 м. 194. В сыром яйце действует закон Паскаля. 196. Наибольшее – в сосуде со ртутью, наименьшее – в сосуде с керосином. 198. Если самовар полный, то стакан наполнится кипятком быстрее. 200. Не изменились – масса молока, сила тяжести, вес молока, объем молока, сила давления; изменилось давление. 201. 10 104 300 Па; 11 114 730 Н. 202. 7602,75 Па. 203. За счет атмосферного давления. 207. Так как происходит резкое уменьшение атмосферного давления. 208.  $0,0000529 \text{ Н} = 52,9 \text{ мкН}$ . 216. Для того чтобы масло могло выливаться из бидона. Если бы не было малого отверстия, то под действием атмосферного давления масло не выливалось бы и мы не могли наполнить им бидон. 219. Будет бездействовать. 220. 162 120 Па. 222. 3200 Н. 226. Нагнетательный. 229. 248 475 Па. 231. Чтобы трубки не сплющивались. 232. Так как на ноги действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх. 234. Чтобы легче было погружаться в воде на определенную глубину. 236. Когда якорь находится в воде, то натяжение цепи меньше. 237. 19 620 Н; 15 696 Н. 238.  $4,08 \text{ дм}^2$ . 239.  $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  (керосин).

240. Отливка свинца всплывёт в ртути; дубовый брусок потонет в бензине; кусок льда потонет в керосине; масло будет плавать на поверхности воды. 245. 10 000 т. 246. 970 г. 247. Нет. Нет, нарушится. 249. Так как плотность газов намного меньше плотности жидкостей. 254. Поставить молоко в холодное место. Более тяжелый стакан молока. 256. Нет. 262. Так как на подводную лодку не действует сила Архимеда. 263. 60,6 Мпа. 265. 253 кН. 266. 126,5 Н. 267. а) Сила тяжести; б) сила трения; в) сила, которую прикладывает спортсмен; г) сила Архимеда. 268. Груз массой 200 кг; в 2,5 раза. 269. 500 Дж. 270. 3434 Дж. 271. 41 см. 273. 39,6 МДж. 274. 576 кДж. 275. 20 м. 276. 147 Вт. 277. 33 кВт. 278. 42 500 Вт. 279. 0,1 мВт. 280. 2,5 кВт. 284. За счет потенциальной энергии молотка. 285. Тело массой 5 кг. 289. 294,3 Дж. 290. 20 кг. 291. 0,32 Дж. 292. 3,5 кДж. 293. Могут, если они будут двигаться с разными скоростями. 296. Потенциальной энергии. Означает сообщить пружине потенциальную энергию. 297. За счет потенциальной энергии топора. 305. 1962 Дж; 2943 Дж. 306. Потенциальную – 24 кДж; кинетическую – 400 кДж. 308. 30 Дж. 309. 48 Дж. 310. 750 Вт. 311. 5 кВт. 312. 147 Дж. 316. Легче разломить спичку посередине, так как действует большее плечо силы. 321. Для обеспечения устойчивости подъёмного крана при подъёме грузов. 323. Уравновесить как рычаг. 325. 400 Н. 326. 360 Н. 329. Различие в резьбе. 331. При перемещении тела на расстояние 8 м под действием силы 25 Н. 332. 736 Вт. 335. Неодинаковую. 336. Никакого. 342. 83 %. 343. 78 %. 344. Внутренняя

энергия горячей воды больше, так как температура её выше. **345.** Нет. **347.** Можно обжечь руки. **350.** Чтобы энергия от варенья не забиралась металлической ложкой. **352.** Кирпич. **365.** Нет. Да. **369.** В первом случае внутренняя энергия увеличилась, а во втором – уменьшилась. **375.** Кирпичному. **376.** Для увеличения тяги. **382.** Изменится. **383.** Нет. Для нагревания на  $1^\circ\text{C}$  1 кг алюминия нужно 920 Дж, 1 кг железа – 460 Дж, 1 кг латуни – 380 Дж, 1 кг свинца – 140 Дж. **388.** Так как вода имеет наибольшую удельную теплоёмкость. **390.** 336 кДж. **391.** 92 кДж. **392.** 750 кДж. **394.** 241,92 Мдж. **395.** 96,72 Мдж; 767,6 кг. **396.** 24 г. **398.** Так как олово имеет низкую температуру плавления –  $232^\circ\text{C}$ . **399.** 174,6 кДж. **400.** 3324 кДж. **401.** 1,87 кг. **402.** 1662 кДж. **404.** Можно. **405.** 234 кДж. **406.** 276,4 кДж. **407.** Нет. **408.** Для серебра. **411.** Чтобы увеличить поверхность высыхания. **413.** 345 кДж. **414.** 23 Мдж. **418.** 13,18 Мдж; при конденсации 5 кг пара. **419.** 6,147 Мдж. **425.** Так как часть энергии идет на испарение воды. **426.** 324 Мдж. **427.** 6,6 кг. **428.** 36,4 г; 6,8 г; 54,5 г углерода и 145,6 г кислорода. **429.** 8 кг. **430.** 510 Мдж; 175 Мдж. **432.** а) 28 Мдж; б) 46 Мдж/кг; в) метан; твердое ракетное топливо; г) 1,8 кг; д) 1 кг; е) 0,14 кг. **435.** При работе двигатель нагревается, вода забирает от него энергию, охлаждая его. **438.** Для охлаждения двигателя. Вода имеет наибольшую удельную теплоёмкость среди жидкостей. **441.** Двигатель внутреннего сгорания. **442.** 4. **443.** Кинетическую энергию пара. **445.** 1389 м. **447.** На изменение внутренней энергии куска металла. **451.** Часть энергии пара израсходовалась на вращение лопастей турбины. **454.** Для работы реактивного двигателя не нужен воздух. **455.** 128 человек. **456.** На 24 т.

## ОТВЕТЫ К РАЗДЕЛУ «ЧТО Я ЗНАЮ И УМЕЮ ДЕЛАТЬ»

**Глава 1.** **3.** 2040 м. **4.** 50 Гц. **5.** 850 м. **9.** Чтобы проверить целостность бандажа колеса. **12.** 0,9 с.

**Глава 2.** **1.** 153 т; 50 кН. **3.** А. Силой земного тяготения. Б. Силой трения. В. Силой упругости. **4.** 1. Силу тяжести. 2. Силу упругости. 3. Вес тела. **5.** Динамометры; 100 г; 500 г; 1 Н; 5 Н. **6.** 2 Н; 2 Н; 200 г. **7.** 12,8 Н. **8.** 687 Н. **9.** Неравномерно, так как  $F > F_{\text{сопр}}$ . **11.** Поэтому что плотность железного цилиндра больше плотности воды, а льда – меньше. **12.** Нет, он потонет.

**Глава 3.** **2.** Мальчики выполнили одинаковую работу – 19 620 Дж. **3.** 64 Вт. **4.** 216 ГДж. **6.** 0,25 Дж; 1,58 м/с; 9,25 Дж. **9.** В 4 раза. **10.** В 6 раз. **11.** Нарушится. **12.** 83 %.

**Глава 4.** **2.** Внутренняя энергия 1 кг воды увеличилась на 4 200 Дж, а 1 кг железа – на 460 Дж. **3.** 324 кДж. **4.** Можно. **5.** 7 908 кДж. **6.** Хватит. **9.** Нет. **10.** Не изменится, пока лед не растает.

## ОТВЕТЫ К РАЗДЕЛУ «ФИЗИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ ВОКРУГ НАС»

**1.** Если самолет относительно автомобиля неподвижен, т. е. если самолет движется почти горизонтально с такой же скоростью относительно Земли, что и автомобиль. **2.** Прямая линия. **3.** Окружности. **4.** Поступательный и вращательный. **5.** Так как другой автобус двигался с большей скоростью. **6.** Нет. **7.** В случае мягкой опоры сила удара в основном идет на изменение скорости движения ореха – сначала он приобретает скорость, а потом, углубившись в опору, останавливается. Скорлупа почти не изменяет

своей формы и поэтому не разрушается. Если орех размещается на твердой опоре, то этого не происходит, и он раскалывается. **8.** За счёт инертности капле воды. **9.** В том случае, когда колют дрова, ударяя по полну топором, он, продолжая движение вследствие инертности, входит глубоко в неподвижное полено. Если же ударяют обухом топора, частично углубленного в полено, об колоду, для раскалывания дров, топор останавливается, а полено продолжает движение вследствие инертности и раскалывается. **10.** Вследствие инертности кирпич при ударе не успевает заметно изменить свою скорость движения и не давит на руку строителя, поэтому он не ощущает боли. **11.** При остановке лошади всадник, двигаясь по инерции, упадёт через голову лошади. **13.** Нет. **15.** Сила звука зависит от значения амплитуды колебаний тела. **16.** Потому, что звук распространяется намного медленнее, чем свет. **17.** Нет. **18.** Благодаря силе тяжести. **19.** Потому что они имеют большую массу. **20.** Для обеспечения уточнения массы гири при её проверке. **21.** Нет. **23.** За счёт силы трения. **24.** Чтобы увеличить силу трения скольжения подошвы обуви об ступени. **25.** При разрезании нитью возникает значительно меньшая сила трения, чем при разрезании ножом. **26.** Для уменьшения силы трения иглы об кожу при уколе. **27.** Тело рыбы покрыто слизью, уменьшающей силу трения, и она выскользывает из рук. **28.** В кузове автомобиля для увеличения силы трения покоя, т. е. сцепления колёс с дорожным полотном. **29.** Устойчивость ходьбы человека определяется силой трения между подошвами обуви и грунтом. Поскольку сила тяжести на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле, то там при ходьбе возникает меньшая сила трения. **30.** Голова оказывает на подушку меньшее давление, чем на доску. **31.** Живые деревья имеют большую площадь сопротивления ветру при одинаковом давлении, чем сухие деревья. **32.** Увеличивается площадь опоры, и лёд не проваливается. **33.** Для уменьшения площади режущего инструмента. **34.** Новый напильник глубже заходит в металл, за счёт чего возрастает скорость обработки детали. **36.** В напитках растворённый углекислый газ находится под большим давлением, чем атмосферное. Если бутылку открыть, газ внутри расширяется, вследствие чего жидкость «кипит». **37.** Нагреть шарик в горячей воде. **38.** Закон Паскаля. **39.** Будет действовать. **40.** Так как увеличивается высота воды в ванне. **41.** Так как увеличивается давление на барабанные перепонки в ушах. **42.** Если чайник наполнен до краёв, то при незначительном наклоне из него выливается вода. **43.** Так как уровень воды в водонапорной башне ниже уровня размещения кранов на верхних этажах дома. **44.** Так как воздух проходит между раздвоением копыта, вследствие чего не возникает разности давлений над и под копытом. **45.** Когда вода вытекает из бутылки, воздух в ней расширяется, давление его падает и становится меньше атмосферного. Вследствие этого внешний воздух пузырьками прорывается сквозь жидкость в бутылку. Возникает «бульканье». Стенки резиновой грелки эластичны. При вытекании воды они сжимаются. Давление воздуха внутри грелки такое же, как и снаружи. Поэтому вода вытекает сплошной струей. **46.** Чтобы увеличить точность прибора. **47.** Нельзя. **48.** Одним клапаном является поршень, вторым – ниппель в шине. **49.** При работе всасывающего насоса, который размещается сверху колодца, подъём воды осуществляется под действием силы атмосферного давления; в нагнетательном насосе, который размещается на дне колодца, подъём воды осуществляется под действием силы мышц человека. **50.** В воде на человека действует выталкивающая сила. **51.** Так как существует предел прочности конструкции лодки, а значит, и предел глубины её погружения. **52.** Значение одно и то же. **53.** Закон Паскаля действует, сила Архимеда отсутствует. **54.** При вдохе человек всплывает, при выдохе погружается глубже в воду, потому что изменяется объём грудной клетки. **55.** Нет. **56.** Повисился бы. **57.** Так как молоко имеет большую плотность. **58.** Керосин будет всплывать в воде и будет продолжать гореть. **59.** Плотность жирного молока меньше, в нем лактометр погрузится глубже. **60.** Можно. **61.** Движение водорода и гелия вверх обусловлено аэростатическим давлением воздуха, который вытесняет эти газы. **62.** Нет. **63.** Выполняет. **64.** С увеличением нагрузки корабль глубже погружается в воду. Это повышает



силу сопротивления воды движению корабля, что приводит к потере им скорости.

**65.** Для увеличения чувствительности весов. **66.** Действием силы трения. **67.** Такое крепление дает возможность уменьшить натяжение троса вдвое. **68.** В прыжке «перекатом» спортсмен не так высоко поднимает тело над планкой, как в прыжке «прямо», поэтому выполняет меньшую работу. **69.** За счет разности потенциальной энергии автомобиля на вершине и возле подножия горы. **70.** За счет потенциальной энергии сжатого воздуха. **71.** За счет потенциальной энергии, которую приобрел азростат при наполнении газом. **72.** Правильно. **73.** При одинаковых скоростях тело, имеющее большую массу, имеет и большую кинетическую энергию. **74.** За счет потенциальной энергии упруго деформированного тела. **75.** Если автомобиль разогнается, то к механической энергии двигателей прибавляется кинетическая энергия автомобиля. **76.** Зимний. **77.** При недостаточном смазывании подшипников в результате трения механическая энергия превращается во внутреннюю. Температура баббита поднимается до точки плавления, и он плавится. **78.** Колёса автомобиля нагреваются и за счет работы силы трения при частичном проскальзывании их по полотну дороги, и за счет работы деформации шин при качении. **79.** При трении солома может разогреться и воспламениться, что приведёт к пожару. **80.** С остановками. **81.** Так как они потеряли бы свою прочность вследствие нагревания при трении о воздух. **82.** При посадке. **83.** В медной, так как теплопроводность меди больше, чем чугуна. **84.** Алюминий имеет большую теплопроводность, чем фарфор. **85.** При температуре тела человека. **86.** Влажный. **87.** Жир имеет низкую теплопроводность и защищает организм животных от чрезмерного охлаждения в полярных водах. **88.** Вода имеет намного большую теплопроводность, чем воздух, поэтому в воде тело человека охлаждается быстрее. **89.** Когда лёд положить на крышку чайника. **90.** Плёнка задерживает воздух определённой температуры возле растений. **91.** За счет вертикальных восходящих потоков воздуха. **92.** Чтобы обеспечить естественную циркуляцию воды в системе водяного отопления. **93.** Лучше красить в черный цвет. **94.** Чтобы уменьшить поверхность излучения тепла из тела. **95.** Круглый термос имеет меньшую поверхность, поэтому он в меньшей степени поглощает и отдает теплоту, кроме того круглый термос прочнее. **96.** Вместе с процессом излучения энергии в космос происходит и процесс поглощения энергии Солнца. **99.** Песок имеет малую удельную теплоёмкость, поэтому быстро нагревается и охлаждается. **100.** Малая удельная теплоёмкость, большая теплопроводность, не смачивает стекло, сравнительно легко получить в чистом виде, высокая температура кипения, низшая сравнительно с водой, точка отвердевания. **102.** Вода внутри соли, превращаясь в пар, разрывает кристаллы. **103.** Нанести царапину одним телом на поверхности другого. **104.** Расплавится. **105.** На тротуаре, посыпанном солью. **106.** При морозе соль в виде раствора покидает лёд. **107.** Металл имеет большую теплопроводность, чем дерево, поэтому он отводит от тонкой пленки воды тепло настолько быстро, что она охлаждается ниже точки плавления и замерзает. **108.** Большой удельной теплоёмкостью воды. **109.** При трении лыж об снег он плавится, а потом снова отвердевает. **110.** Нет. **111.** Горячая вода «расплавляет» тонкий слой льда, успевает растечься, и поверхность льда становится гладкой. **112.** Вода, замерзая при сильных морозах, разрывает волокна дерева. **113.** Испаряется с поверхности листья деревьев. **114.** Вследствие испарения воды. **115.** Чай. **116.** Постоянное испарение воды из салфетки способствует охлаждению молока. **117.** В сухом воздухе пот испаряется и охлаждает тело человека. **118.** В низинах температура воздуха ниже, чем на возвышении. **119.** Для выхода пара, иначе пар может вытеснить воду через носик чайника. **120.** Мощность нагревателя не влияет на температуру кипения воды, в которой варится картофель. **121.** Некоторое количество теплоты необходимо затратить на испарение воды, которая содержится в сырых дровах. **122.** Поток воздуха срывает пламя со свечи и спички, охлаждает горючие вещества. **123.** Так как металл намного быстрее отбирает энергию от угля, чем дерево. **124.** Чтобы их не «раздувало» при нагревании. **125.** После просакивания искры.



## ПРЕДМЕТНО-ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Акваланг** 112  
**Акустика** 31  
**Амплитуда колебаний** 27  
**Ареометр** 113
- Барограф** 99, 100  
**Барометр ртутный** 99, 100  
 – анероид 99, 100  
**Батискаф** 112  
**Батисфера** 112  
**Белл Грейам** 33  
**Блок неподвижный** 145  
 – подвижный 146  
**Бойль Роберт** 37
- Ватерлиния** 113  
**Ватт** 132  
**Векторная величина** 13  
**Вес тела** 65  
**Взаимодействие тел** 52-53  
**Взвешивание гидростатическое** 116  
**Винт** 147  
**Водоизмещение** 114  
**Волна звуковая** 31, 32, 36  
**Ворот** 146  
**Высота звука** 33
- Галилей Галилео** 10, 54, 122  
**Герике Отто** 101  
**Герц** 28  
**Герц Генрих** 28  
**График движения** 17  
 – скорости 17  
**Громкость звука** 33  
**Гук Роберт** 64, 121
- Давление** 82  
 – атмосферное 97, 98  
 – гидростатическое 87  
**Двигатель внутреннего сгорания** 209  
 – реактивный 211  
 – тепловой 208  
**Движение колебательное** 26  
 – механическое 8  
 – неравномерное 12  
 – вращательное 23  
 – по окружности 23  
 – поступательное 10  
 – прямолинейное равномерное 11, 16  
 – тепловое 165  
**Движения периодические** 24  
**Денсиметр** 113  
**Децибелл** 33, 41  
**Джоуль** 130  
**Джоуль Джеймс** 130  
**Динамометр** 70-71  
**Дирижабль** 114, 115  
**Длина волны** 35
- Закон Архимеда** 109  
 – Гука 65  
 – сохранения энергии в механических и тепловых процессах 214  
 – – механической энергии 138, 139  
 – Паскаля 86, 87  
 – сообщающихся сосудов 94  
 «Золотое правило» механики 151, 152
- Излучение** 175, 176  
**Инерция** 54  
**Испарение** 196
- Камертон** 32  
**Кипение** 197  
**Клин** 147  
**Колебания свободные** 27  
 – звуковые 33  
 – инфразвуковые 39  
 – механические 26  
 – ультразвуковые 39  
**Количество теплоты** 180, 182  
**Конвекция** 174  
**Коэффициент полезного действия (КПД) механизмов** 152  
 – – – нагревателя 215  
**Кристаллизация вещества** 191  
**Кусто Жак-Ив** 112
- Манометр** 102, 103  
**Материальная точка** 8  
**Машина** 144, 145  
**Машины гидравлические** 91, 92  
**Метр** 11  
**Механизм** 143

Момент силы 149

Мощность 131

Наклонная плоскость 146, 147

Насос жидкостный 103, 104

Невесомость 66

Ньютон 62

Ньютон Исаак 121

Относительность движения 9

Парообразование 196

Паскаль 82

Паскаль Блез 122

Период колебаний 27, 28

– вращения 24

Плавление вещества 191

Правило рычага 152

Пресс гидравлический 92

Простые механизмы 147

Путь 11

Работа механическая 130

Рычаг 145, 149

Сгорание топлива 202

Сила 60

– выталкивающая 108, 109

– сопротивления 76

– упругости 64, 65

– равнодействующая 78, 79

– трения 73

– давления 82

– тяготения 62

Скорость распространения звука 37, 38

– равномерного движения тела 12, 13, 15

– средняя 15

Спидометр 21

Сообщающиеся сосуды 93, 94

Стробоскоп 25

Температура кипения 197

– конденсации 197

– кристаллизации 191

– плавления 191

– тела 165

Тепловой баланс 185

Теплообмен 172

Теплопроводность 173

Термометр 165, 168

Термоскоп Галилея 165

Тормоза гидравлические 93

Трение скольжения 73, 75

– качения 73, 75

– покоя 73, 75

Тело отсчета 9

Тон музыкальный 32

Торричелли Эванджелиста 122

Траектория 10

Турбина газовая 211

– паровая 210

Тяготение всемирное 63

Уатт Джеймс 213, 220

Удельная теплоемкость вещества 182

– теплота сгорания топлива 204

– – парообразования вещества 199

– – плавления вещества 193

Уравнение теплового баланса 186

Условие равновесия рычага 150

– плавления тел 111, 112

Ухо 31

Фаренгейт Рафаэль 166

Частота колебаний 28

– вращения 24

Шестерня 147

Шкала Реомюра 166

– Цельсия 166, 167

Шлюзы 95

Шум 34, 41–43

Шумомер 41

Энергия 135

– внутренняя 170

– кинетическая 137

– потенциальная 135, 136

Эхо 38

Эхолот 39