

Министерство образования, культуры и исследований Республики Молдова  
Ион БОТГРОС Виорел БОКАНЧА Владимир ДОНИЧ Николае КОНСТАНТИНОВ

# ФИЗИКА

*Учебник для 8-го класса*

*Издание 4-е, пересмотренное и дополненное*

CARTIER  
educational

Elaborat conform Curriculumului disciplinar în vigoare și aprobat prin Ordinul Ministrului nr. 769 din 15 iulie 2013.  
Editat din sursele financiare ale Ministerului Educației, Culturii și Cercetării al Republicii Moldova.

**Comisia de experți:**

Eugen Gheorghîță, *președintele Comisiei, doctor habilitat în fizică și matematică, profesor universitar, șef al Catedrei de fizică teoretică și experimentală, Universitatea de Stat din Tiraspol cu sediul la Chișinău;*  
Grigore Opațchi, *profesor de fizică, grad didactic întâi, Liceul Teoretic „Al. Mateevici”, or. Căușeni;*  
Nina Cotici, *profesoară de fizică, grad didactic întâi, Liceul Teoretic „V. Alecsandri”, or. Ungheni;*  
Ludmila Crețu, *profesoară de fizică, grad didactic superior, Liceul Teoretic „L. Deleanu”, or. Chișinău;*  
Victor Ciuvaga, *profesor de fizică, grad didactic superior, Liceul Teoretic „C. Stere”, or. Soroca.*

**Recenziți:**

Nadejda Ovcerenco, *șefă a Catedrei de pedagogie și psihologie generală, UST, doctor, conferențiar universitar;*  
Nelu Vicol, *conferențiar universitar, doctor în filologie;*  
Valeriu Podborschi, *coordonator al specialității Design industrial a Universității Tehnice a Moldovei, conferențiar universitar.*

**CARTIER**

Publicată de Editura CARTIER  
Editura Cartier, SRL, str. București, nr. 68, Chișinău, MD 2012.  
Tel./fax: 022 24 05 87, tel.: 022 24 01 95. E-mail: cartier@cartier.md  
www.cartier.md

*Cărțile CARTIER pot fi procurate în toate librăriile bune  
din România și Republica Moldova.*

**LIBRĂRIILE CARTIER**

*Librăria din Hol, str. București, nr. 68, Chișinău. Tel./fax: 022 24 10 00.  
Librăria din Centru, bd. Ștefan cel Mare, nr. 126, Chișinău. Tel./fax: 022 21 42 03.*

Colecția *Cartier educațional* este coordonată de Viorica Goraș-Postică

Editor: Gheorghe Erizanu

Traducător: Evelina Bocancea

Lectori: Iulia Vorobiova, Irina Subbotovici

Coperta: Vitalie Coroban

Design/tehnoeditare: Mircea Cojocaru

Prepress: Editura Cartier

Tipărită la Bons Offices

Ion Botgros, Viorel Bocancea, Vladimir Donici, Nicolae Constantinov

**ФИЗИКА, УЧЕБНИК ДЛЯ VIII КЛАССА**

Ediția a IV-a, iunie 2019

© 2019, 2013, 2008, 2002, Editura Cartier pentru prezenta ediție.

Toate drepturile rezervate. Cărțile Cartier sunt disponibile în limita stocului și a bunului de difuzare.

**Descrierea CIP a Camerei Naționale a Cărții**

Физика : Учебник для 8-го класса / Ион Ботгрос, Виорел Боканча, Владимир Донич [и др.]; trad.: Evelina Bocancea; comisia de experți: Eugen Gheorghîță [et al.]; М-во образования, культуры и исследований Респ. Молдова. – 4-е изд., пересмотр. и доп. – Кишинэу : Cartier, 2019 (Типogr. “Bons Offices”). – 128 p. – (Colecția “Cartier educațional” / coord. de Viorica Goraș-Postică, ISBN 978-9975-79-896-9). 3220 ex.

ISBN 978-9975-86-345-2.

53(075.3)

Ф 503

**Учебник является собственностью Министерства образования, культуры и исследований Республики Молдова**

Школа/Лицей _____
Учебник № _____

Год	Фамилия и имя учащегося, получившего учебник	Учебный год	Состояние учебника	
			при получении	при возвращении
1				
2				
3				
4				
5				

- Преподаватель обязан проверить, правильно ли написаны фамилия и имя учащегося.
- Учащиеся не должны делать пометок на страницах учебника.
- Просим бережно обращаться с полученными вами учебниками.
- Состояние учебника описывается следующими словами: отличное, хорошее, удовлетворительное, неудовлетворительное, плохое.

## *Дорогие ребята!*

Содержание учебника физики, лежащего перед вами, лаконично, доступно и учитывает ваши умения и компетенции, формирование которых началось в предыдущие годы обучения. Учебник предлагает вам развить компетенции научного познания в пяти его компонентах: интеллектуальные приобретения, научное исследование, владение научным языком, практические приобретения и бережное отношение к окружающей среде.

Учебные деятельности, предложенные учебником, должны содействовать формированию системы знаний и способностей всех уровней: способности **знать; знать, как сделать; знать, каким быть**, в зависимости от научного содержания изучаемых вами глав. Но эти способности нельзя приобрести без приложения собственных усилий, без упорной каждодневной работы над собой. Учебник содержит интересные и познавательные эксперименты, проблемные ситуации и исследования, приближающие изучение физики к реалиям, встречающимся вам ежедневно.

Ниже укажем познавательные компоненты интеллектуального развития каждого учащегося, изучающего физику в VIII классе с помощью данного учебника.

### **1. Наблюдение**

**Для наблюдения:**

- вначале уточните план наблюдения;
- определите критерии наблюдения;
- сосредоточьте внимание на явлении или предмете, выбранном для наблюдения;
- как можно точнее опишите результаты наблюдения.

### **2. Измерение**

**Для проведения измерений:**

- уточните предмет или физическую величину, которую надо измерить;
- выберите соответствующий инструмент, позволяющий более точно провести измерения;
- как можно точнее и эффективнее выполните измерения;
- выберите единицу измерения, наиболее подходящую для получения самых верных результатов;
- несколько раз повторите измерение, для того чтобы вычислить его погрешности (абсолютную и относительную).

### **3. Сравнение**

**Для сравнения:**

- уточните объект/цель сравнения;

- определите критерии сравнения, то есть элементы, которые вы хотите сравнить, в зависимости от поставленной цели;
- сравните предметы, явления, свойства и т.д. в зависимости от выбранных критериев.

#### 4. Классификация, упорядочение

**Для классификации или упорядочения:**

- уточните предметы или явления, подлежащие классификации;
- определите критерии классификации, которые позволяют разделить предметы, явления и т.д. согласно выбранным критериям (используя поочередно каждый критерий);
- найдите логическую последовательность этих явлений для их упорядочения.

#### 5. Поиск связей

**Для нахождения связей:**

- уточните причину явления;
- установите, какие последствия имело это явление;
- постарайтесь увидеть изменения в рассматриваемом явлении, произошедшие под влиянием других явлений;
- установите причинно-следственную связь.

#### 6. Исследование

**Для проведения исследований:**

- точно сформулируйте цель исследования;
- разработайте план исследования;
- с максимально возможной точностью произведите измерения;
- оформите полученные результаты в виде таблиц, графиков, схем, математических выражений и т.п.;
- проведите тщательный анализ результатов, полученных при измерении, оценив погрешности (абсолютные и относительные);
- сформулируйте соответствующие выводы;
- сравните данные, полученные в результате исследования, с реальными фактами: найдите сходство и различия в них.

Наилучшего формирования и развития своих способностей вы можете добиться, если:

- будете любознательными и восприимчивыми к новым знаниям;
- прежде чем приступить к новой теме, вы будете подводить промежуточные итоги получаемых знаний и будете уверены, что именно вы знаете точно, а что - не совсем;
- будете ставить перед собой вопросы и настойчиво искать ответы на них;
- будете уточнять вопросы, на которые ищете ответы;
- будете сотрудничать с одноклассниками, прислушиваться к их мнению и высказывать собственное мнение.

# Содержание

<b>Глава I. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ</b> .....	7
<b>1. Теоретическая часть</b> .....	8
1.1. Колебательное движение. Гравитационный маятник .....	8
1.2. Свободные колебания и вынужденные колебания .....	12
1.3. Волновое движение .....	15
1.4. Звуковые волны .....	17
Обобщение .....	21
Проверь себя .....	23
<b>2. Практическая часть</b> .....	24
2.1. Проблемные ситуации .....	24
А. Выполни упражнения .....	24
В. Экспериментируй .....	27
С. Исследуй .....	27
Суммативный тест .....	28
<b>Глава II. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ</b> .....	29
<b>1. Теоретическая часть</b> .....	30
1.1. Внутренняя энергия тел .....	30
1.2. Изменение внутренней энергии тел. Количество теплоты .....	34
1.3. Тепловые процессы превращения агрегатных состояний вещества .....	38
1.4. Производство тепла. Способы передачи тепла .....	43
1.5. Взаимные превращения механической работы и теплоты. Тепловой двигатель .....	47
Обобщение .....	52
Проверь себя .....	55
<b>2. Практическая часть</b> .....	56
2.1. Проблемные ситуации .....	56
А. Выполни упражнения .....	56
В. Экспериментируй .....	61
С. Исследуй .....	63
Суммативный тест .....	67

<b>Глава III. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ</b> .....	68
<b>1. Теоретическая часть</b> .....	69
1.1. Электрическое поле. Электрическое напряжение .....	69
1.2. Постоянный электрический ток.	
Сила электрического тока .....	73
1.3. Электрическая цепь. Электрическое сопротивление .....	77
1.4. Закон Ома для участка цепи .....	81
1.5. Закон Джоуля. Закон Ома для полной цепи .....	84
Обобщение .....	88
Проверь себя .....	90
<b>2. Практическая часть</b> .....	91
2.1. Проблемные ситуации .....	91
А. Выполни упражнения .....	91
В. Экспериментируй .....	93
С. Исследуй .....	94
Суммативный тест .....	96
<b>Глава IV. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ</b> .....	97
<b>1. Теоретическая часть</b> .....	98
1.1. Магнитное поле электрического тока .....	98
1.2. Электромагнитная сила .....	103
1.3. Электромагниты. Электрические моторы .....	106
Обобщение .....	112
Проверь себя .....	114
<b>2. Практическая часть</b> .....	115
2.1. Проблемные ситуации .....	115
А. Выполни упражнения .....	115
В. Экспериментируй .....	117
С. Исследуй .....	118
Суммативный тест .....	119
Таблица плотности некоторых веществ .....	120
Таблица удельного сопротивления некоторых проводников ...	120
Основные понятия, изученные в курсе физики VIII класса .....	121
Ответы к задачам .....	127

# Глава 1

## МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### 1. Теоретическая часть

- 1.1. Колебательное движение.  
Гравитационный маятник
- 1.2. Свободные колебания и вынужденные колебания
- 1.3. Волновое движение
- 1.4. Звуковые волны

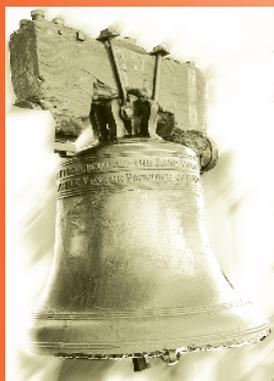
*Обобщение*

*Проверь себя*

### 2. Практическая часть

- 2.1. Проблемные ситуации
  - А. Выполни упражнения
  - В. Экспериментируй
  - С. Исследуй

*Суммативный тест*





## 1. Теоретическая часть

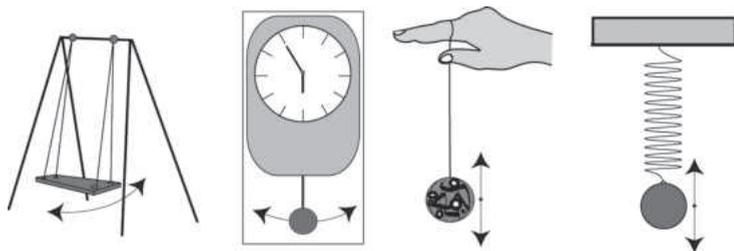
### 1.1. Колебательное движение. Гравитационный маятник

#### Информация

Ранее вы изучали различные виды движения физических тел: равномерное и неравномерное, прямолинейное, криволинейное, круговое. В природе также существуют и другие виды движения, например, движение, повторяющееся через равные промежутки времени. Это движение часовых стрелок, Луны вокруг Земли, Земли вокруг Солнца. Движение такого рода называется **периодическим**. Одним из его видов является **колебательное движение**, с которым вы и познакомитесь на этом уроке.

#### Анализируй ситуацию!

- Внимательно рассмотрите рисунки, расположенные ниже.



- Что характерно для движения этих физических тел?
- Приведите другие примеры подобного движения.

#### Определения:

*Движение тела, которое повторяется через равные или приблизительно равные промежутки времени и которое симметрично относительно положения равновесия тела, называется **колебательным движением**. Колебательные движения также называются **механическими колебаниями**.*

Колеблующееся тело также называется **маятником**.

#### Экспериментируй

- У вас в распоряжении длинная нить, шар и штатив.
  - Для начала изготовьте **гравитационный** (или **математический**) маятник, подвесив к штативу нить с шаром на конце.
  - Отведите шар на 4-5 см от положения равновесия, хорошо натянув нить. Что произойдет после того, как вы отпустите шар?
  - Опишите движения, совершаемые шаром в течение последующих 2-3 минут.



2. У вас в распоряжении пружина, маркированный груз и штатив.

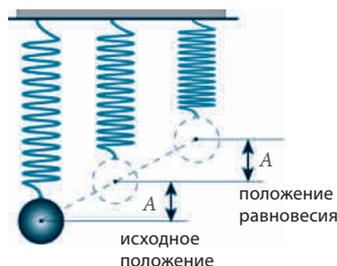
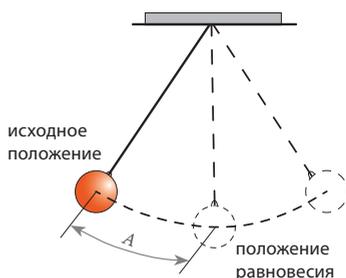
- Изготовьте **пружинный маятник**, закрепив на штативе пружину с подвешенным к ней грузом.
- Оттяните груз на 2-3 см вниз от положения равновесия. Что произойдет, когда вы отпустите его?
- Опишите движения груза в течение последующих 2-3 мин.



**Определение:** > Максимальное смещение колеблющегося тела от положения равновесия называется **амплитудой**.

Амплитуда обозначается буквой  $A$  и измеряется единицами длины – метрами, сантиметрами и т.д.

Считается, что маятник совершил полное колебание тогда, когда он возвратился в исходное положение.



Колебательное движение также характеризуется **периодом колебаний**.

**Определение:** > **Периодом колебаний** называется промежуток времени, в течение которого телом было совершено одно полное колебание.

Период колебаний обозначается буквой  $T$  и измеряется единицами времени. Обычно для вычисления периода колебаний измеряется промежуток времени  $t$ , в течение которого совершается некоторое количество ( $n$ ) колебаний:

$$\text{Период} = \frac{\text{промежуток времени}}{\text{число колебаний}} \quad \text{или} \quad T = \frac{t}{n} \quad (1). \quad [T]_{\text{СИ}} = \text{с (секунда)}$$

Другой величиной, характеризующей колебательное движение, является **частота колебаний**.

Частота колебаний обозначается буквой  $\nu$  (ню).

**Определение:** > **Частотой колебаний** называется физическая величина, равная числу колебаний, совершенных в единицу времени.

Для вычисления частоты колебаний число колебаний  $n$  делится на промежуток времени  $t$ , в течение которого тело совершает эти колебания:

$$\text{Частота} = \frac{\text{число колебаний}}{\text{промежуток времени}} \quad \text{или} \quad \nu = \frac{n}{t} \quad (2).$$

$$[v]_{\text{СИ}} = \frac{1}{[t]_{\text{СИ}}} = \frac{1}{\text{с}} = \text{Гц}$$

Единицей измерения частоты с СИ является 1 Гц (1 герц).

**Определение:**

1 Гц – это частота колебаний тела, при которой за 1 с совершается одно полное колебание.

Эта единица измерения была названа в честь немецкого ученого Генриха Герца.

**Историческая справка**

**Генрих Герц (1857-1894)** свою научную деятельность начал в 1880 году под руководством знаменитого немецкого физика Г. Гельмгольца. Генрих Герц занимался исследованием явлений, связанных с электрическими колебаниями. В 1887 году он издал работу «О сверхчастотных электрических колебаниях», в которой описал метод их получения. В том же году Генрих Герц открыл явление взаимодействия света и вещества.



Из формул вычисления периода (1) и частоты (2) выводится отношение между этими физическими величинами:

**Запомни!**

Период и частота колебаний являются **обратными** физическими величинами, характеризующими колебательное движение.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad (3) \quad \text{или} \quad T = \frac{1}{\nu} \quad (4).$$

Следовательно, при увеличении периода колебаний маятника уменьшается частота этих колебаний. И, наоборот, при увеличении частоты колебаний уменьшается их период.

**Практическая деятельность**

### Лабораторная работа

#### Определение периода и частоты колебаний гравитационного маятника

**Необходимые приборы и материалы:** штатив, шар, нить (1м), линейка, хронометр.

#### Ход работы:

- Изготовьте из имеющихся материалов гравитационный маятник.
- Отклоните маятник примерно на 5° от положения равновесия и отпустите.
- Измерьте время, за которое маятник сделает определенное количество колебаний, например, 30.
- Повторите эксперимент три раза, меняя длину нити.



- Занесите результаты в таблицу.

№ эксп.	Длина нити, м	Число колебаний	Общее время колебаний, с	Период колебаний, с	Частота колебаний, Гц
1					
2					
3					

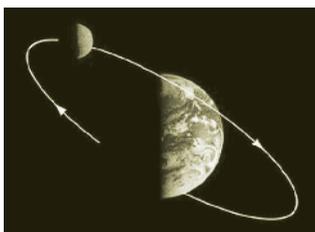
- Сформулируйте выводы.

**Новые физические понятия**

- *колебательное движение;*
- *маятник;*
- *механические колебания;*
- *амплитуда;*
- *гравитационный (математический) маятник;*
- *пружинный маятник;*
- *частота колебаний.*

**Проверь свои знания**

1. Что называется колебательным движением?
2. Чем механические колебания отличаются от других периодических движений?
3. Выделите колебательные движения из перечисленных примеров периодического движения: движение часового маятника, движение часовых стрелок, движение Луны вокруг Земли, движение насосного поршня при накачивании колеса, движение точки на колесе во время его вращения.



4. Приведите примеры механических колебаний в природе и в технических устройствах.
5. Перечислите физические величины, характеризующие колебательное движение, и единицы их измерения в СИ.
6. Что означает термин *полное колебание*?
7. Пружинный маятник совершает колебания с амплитудой 4 см. Найдите пройденный путь и перемещение тела за :
  - а) четверть периода;
  - б) половину периода;
  - в) три четверти периода;
  - г) один период.
8. Гравитационный маятник совершает 30 колебаний за 60 секунд. Определите период и частоту колебаний этого маятника.

## 1.2. Свободные колебания и вынужденные колебания

### Информация

На предыдущем уроке вы изучали колебательное движение и физические величины, характеризующие его: амплитуду, период и частоту колебаний.

Далее мы изучим два вида колебаний: **свободные колебания** и **вынужденные колебания**.

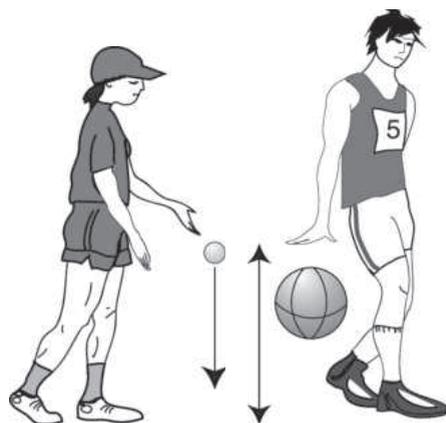
- Рассмотрите рисунки, представленные справа.

### Выскажи свое мнение

- Сравните движение мячика для пинг-понга с движением баскетбольного мяча.

- Что надо сделать, чтобы мячик для пинг-понга подпрыгивал каждый раз на

одинаковую высоту, подобно баскетбольному мячу на рисунке?



### Определение:

Колебания, которые происходят под действием внешней периодической силы, называются **вынужденными колебаниями**.

### Анализируй ситуацию!

- Приведите примеры вынужденных колебаний.

- Укажите, какая внешняя периодическая сила действует на тело в каждом случае.

- Что произойдет, если действие этой силы прекратится?

### Определение:

Колебания, которые происходят без воздействия внешних периодических сил, называются **свободными колебаниями**.

Из-за существования сил трения амплитуда свободных колебаний постепенно уменьшается до полного прекращения колебаний. В таких случаях говорят, что колебания гасятся (амортизируются). Например, колебания маятника, выведенного из положения равновесия, гасятся из-за сопротивления воздуха.

### Запомни!

Свободные колебания являются **амортизируемыми колебаниями**.

Если сопротивление мало, амортизация становится заметна, когда маятник уже совершил большое количество колебаний. Следовательно, на протяжении небольшого промежутка времени амортизацией можно пренебречь.

**Анализируй ситуацию!**

Допустим, гравитационный маятник массой 100 г (рис. 1) выведен из равновесия и колеблется таким образом, что максимальная высота, на которую при этом поднимается центр тяжести маркированного груза  $h_{\text{макс.}} = 5$  см.

Определите потенциальную энергию маятника, пользуясь формулой:

$$E_n = mgh_{\text{макс.}}$$

и считая  $g = 10$  Н/кг.

В тот момент, когда маркированный груз проходит положение равновесия, его скорость равна  $v = 1$  м/с. Определите кинетическую энергию маятника в этой точке, используя формулу:

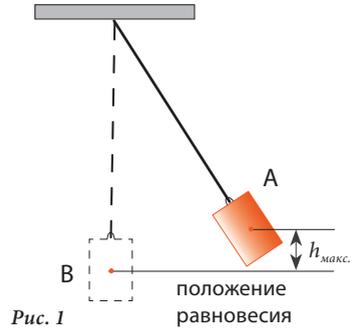
$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

В каком положении маркированный груз обладает максимальной кинетической энергией и почему?

Сравните эту энергию с потенциальной энергией маркированного груза на максимальной высоте.

Как изменяются величины потенциальной и кинетической энергии при движении тела из верхнего положения в положение равновесия и от одного крайнего положения до другого?

Сформулируйте вывод относительно сохранения механической энергии в этой системе, считая ее изолированной.



**Запомни!**

Общая энергия колеблющегося тела является величиной постоянной и равной потенциальной энергии, сообщенной маятнику при выведении его из положения равновесия.

$$E = mgh_{\text{макс.}} = \frac{mv_{\text{макс.}}^2}{2}.$$

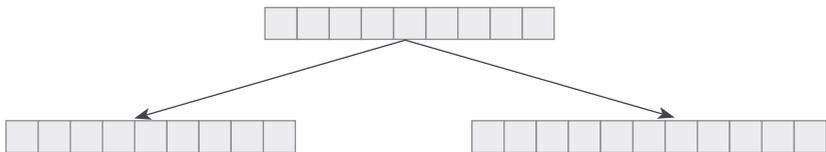
Это утверждение действительно только в том случае, если потери энергии настолько малы, что ими можно пренебречь.

**Новые физические понятия**

- свободные колебания;
- вынужденные колебания;
- амортизируемые колебания;

**Проверь свои знания**

1. Заполните пустые клетки только что выученными понятиями.



2. Продолжите фразы:
  - а) Вынужденными колебаниями называются...
  - б) Свободными колебаниями называются...
3. Чем отличаются свободные колебания от вынужденных?
4. Приведите по 2-3 примера свободных и вынужденных колебаний.
5. Определите, какие тела из представленных ниже могут совершать колебания. Затем сгруппируйте их в зависимости от того, какие виды колебаний они совершают: вынужденные или свободные. Объясните каждый из случаев.



6. Приведите примеры механизмов, работа которых основана на вынужденных колебаниях.
7. Опишите превращения энергии при колебаниях гравитационного маятника.
8. Опишите превращения энергии при колебаниях пружинного маятника.
9. Шарик, подвешенный на длинной нити, отклонен от положения равновесия и находится на высоте  $h_{\text{макс.}} = 20$  см. Какой скоростью будет обладать этот шар при прохождении им положения равновесия? Сопротивлением воздуха пренебречь;  $g = 10$  Н/кг.

## 1.3. Волновое движение

**Информация** > Вы наверняка наблюдали, как при падении камня в озеро или при колебании поплавка на гладкой поверхности воды возникают волны.

Эту форму механического движения мы и будем изучать далее.

Начальное возмущение среды происходит под действием внешнего тела, именуемого источником волны. Так, в нашем примере источниками волны являются камень и поплавок удочки.

**Определение:** > **Волновым движением** (или **волной**) называется процесс распространения колебаний в пространстве.

**Экспериментируй** > **Формирование волн на водной поверхности**

Используя ванночку с водой, штатив, пружину и металлический шар с крючком, смонтируйте устройство, изображенное на рис. 1, причем таким образом, чтобы шар едва касался поверхности воды.



Рис. 1

- Выведите шар из положения равновесия и оставьте его колебаться.
- Что образуется на поверхности воды при колебании шара?

Помимо поверхностных волн существуют и волны, которые распространяются внутри различных веществ благодаря силам упругости, действующим в них. Эти вещества (или среды) называются упругими, а образующиеся в них волны называются **упругими волнами**. В очень разреженных средах, где взаимодействие частиц практически не происходит, не возникают упругие силы, с помощью которых от одной частицы к другой распространяются колебания.

- Запомни!** >
1. Механические волны распространяются только в упругих средах.
  2. Механические волны не распространяются в вакууме.

**Эксперимент** >

- Привяжите эластичный шнур к стене и натяните его.
- Резко взмахнув рукой (рис. 2 а), создайте кратковременное возмущение на конце шнура.

- Что вы наблюдаете?
- Что является в данном случае источником волны?
- Повторите опыт, периодически взмахивая рукой и приводя таким образом шнур в периодическое движение (рис. 2 б).

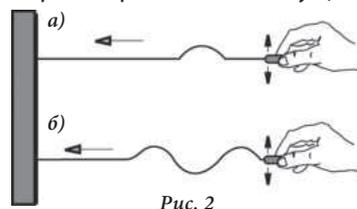


Рис. 2

- Что наблюдаете теперь? Как движется шнур: вдоль линии распространения волны или перпендикулярно ей?
- Перемещаются ли при этом частицы вещества вдоль линии распространения волны?

**Запомни!** > При распространении механической волны перемещается только энергия, а не само вещество.

**Определение:** > Расстояние, на которое распространяется волна за время, равное одному периоду, называется **длиной волны**.

Длина волны обозначается буквой  $\lambda$  (лямбда) и измеряется в единицах длины – метрах, сантиметрах и т.д.

Согласно определению, длина волны  $\lambda = v \cdot T$ , а скорость распространения волны определяется формулой:  $v = \frac{\lambda}{T}$ .

Так как частота колебаний  $\nu = \frac{1}{T}$ , следовательно:  $v = \lambda \cdot \nu$  (1).

**Запомни!** > **Скорость волны равна произведению длины волны и частоты колебаний.**

У поверхностных волн (распространяющихся по поверхности различных жидкостей) длиной волны считается расстояние между гребнями двух соседних волн, измеренное вдоль линии их распространения.

**Новые физические понятия** >

- волновое движение;
- скорость волны;
- механические волны (упругие волны);
- длина волны.

**Проверь свои знания** >

1. Что называется механической волной?
2. При каких условиях появляются механические волны?
3. Какие межмолекулярные явления делают возможным распространение возмущений в упругих средах?  
Почему механические волны называют также упругими?
4. Приведите пример механических волн.
5. В каком направлении колеблются частицы эластичного шнура, вдоль которого распространяются волны?  
Приведите примеры других способов движения частиц вещества относительно направления распространения волн.
6. Одновременно с волной движется и вещество упругой среды или только энергия волны? Приведите примеры, объясняющие ответ.
7. Что означает длина волны, и какова единица измерения этой физической величины в СИ?
8. Как зависит длина волны  $\lambda$  от частоты колебаний  $\nu$  источника? При уменьшении частоты колебаний уменьшится или увеличится длина волны?
9. Лодка качается на морских волнах с частотой 0,5 Гц. Определите скорость распространения волн, если известно, что расстояние между двумя соседними гребнями равно 8 м.
10. Пульсирующая волна распространяется в сосудах со скоростью 10 м/с, а длительность сердечного цикла равна 0,8 с. Определите длину этой волны и частоту сокращения сердечной мышцы.

## 1.4. Звуковые волны

**Информация** > На предыдущем уроке вы изучали процесс распространения колебаний в пространстве, называемый **волной** или **волновым движением**.

Среди примеров такого движения можно назвать волны на поверхности озера и волны, распространяющиеся вдоль пружины при ее сжатии.

Эта форма механического движения характеризуется такими физическими величинами как: **длина волны** – расстояние, на которое распространяется волна в течение своего периода и **скорость волны** – произведение длины волны и частоты колебаний.

Далее мы проанализируем один из примеров упругой волны – **звуковую волну**.

- Экспериментируй** >
- Закрепите металлическую линейку на краю стола (рис. 1).
  - Отведите свободный конец линейки от положения равновесия и отпустите его. Что вы наблюдаете (слышите)?
  - Повторите эксперимент, изменяя длину линейки над точкой крепления.
  - Сформулируйте вывод.



Рис. 1

**Определение:** > Волны, которые вызывают у человека слуховые ощущения, называются **звуковыми волнами** или **звуком**.

- Работа в группах** >
- Любая звуковая волна имеет свой источник.
  - Приведите примеры тел, которые, колеблясь, вызывают звуковые волны.

**Определение:** > Тела, которые при колебании распространяют звуковые волны, называются **источниками звука**.

- Разделите эти источники на естественные и искусственные.

Как распространяется звук от источника звука до приёмника (например, до уха)?

На рис. 2 а) вы видите камертон – прибор, который используется при настройке музыкальных инструментов. При ударе резиновым молоточком по одной из ветвей камертона она начинает вибрировать (рис. 2 б), производя сгущение и разрежение воздуха.

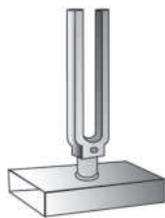
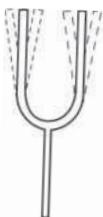


Рис. 2

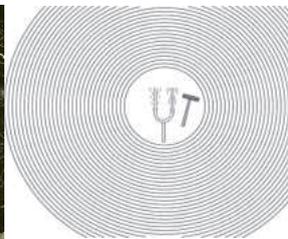
а)



б)



Рис. 3



Так формируется звуковая волна, которая, достигая уха, вызывает слуховые ощущения (рис. 3).

### Эксперимент

Электрический звонок на эластичном основании помещается под стеклянный колокол (рис. 4).

Звонок подключается к электрической цепи, а из-под колокола выкачивается воздух.

Будет ли слышен звук, издаваемый звонком? Объясните ответ.

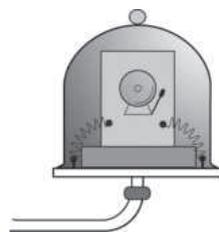


Рис. 4

### Запомни!

*Звуковые волны возникают только в среде, которая способна вибрировать.*

В различных средах звук распространяется с разной скоростью. Например, в воздухе при температуре  $16\text{ }^{\circ}\text{C}$  скорость звука равна  $340\text{ м/с}$ , а в воде –  $1450\text{ м/с}$ . Скорость звука в стали еще больше –  $5000\text{ м/с}$ .

**Вывод:** *Скорость звука зависит от свойств среды, в которой он распространяется.*

### Историческая справка

Первый раз скорость звука в воздухе была измерена в 1636 году французским ученым М. Мерсенном – одним из последователей Галилео Галилея. Он пришел к выводу, что скорость звука в воздухе равна  $343\text{ м/с}$  (в современных единицах измерения) при температуре  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Скорость звука в жидкости выше, чем в газах. Скорость звука в воде была определена в 1826 году учеными Дж. Коллагоном и Ш. Ф. Штурмом. Оказалось, что она равна  $1440\text{ м/с}$  при температуре  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В 1832 году французский физик Ж. Б. Био измерил скорость звука в твердом теле – в чугунной трубе парижского водопровода. С помощью этого эксперимента сравнили скорости распространения звука в трубе и в воздухе. Оказалось, что в трубе скорость звука в 11,5 раза больше.

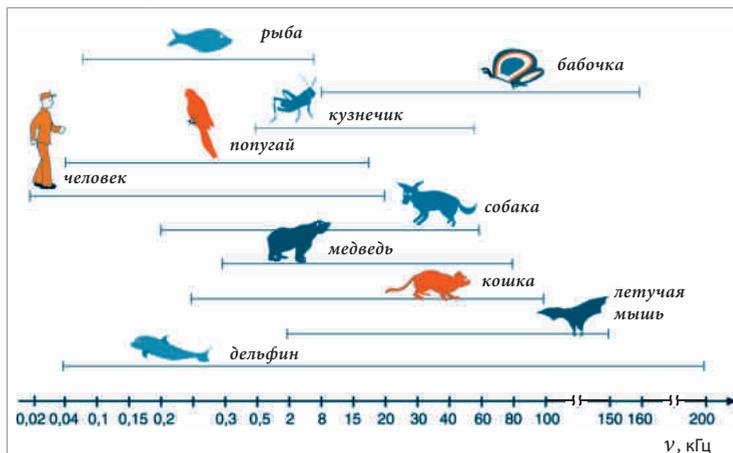
Звуки различаются между собой высотой, громкостью и другими характеристиками. Высота звука зависит от частоты звуковой волны. Звуки большой частоты считаются высокими, а с меньшими частотами – низкими

Человеческое ухо может воспринимать звуковые волны с частотой от  $16\text{ Гц}$  до  $20\text{ }000\text{ Гц}$ .

### Определение:

*Волны с частотой  $\nu < 16\text{ Гц}$  называются инфразвуковыми, а волны с частотой  $\nu > 20\text{ }000\text{ Гц}$  называются ультразвуковыми*

Животные воспринимают звуки и иной частоты, недоступные для слуха человека (см. рисунок ниже).



Одной из характеристик **громкости звука** является его **интенсивность** – величина, пропорциональная амплитуде колебаний звуковой волны. Амплитуда, в свою очередь, зависит от энергии, которую сообщает среде источник звука, а также от расстояния от него до звукового приемника, свойств звукопроводящей среды и др.

**Уровень звуковой интенсивности** (или **уровень звука**) является величиной, характеризующей громкость звука в зависимости от минимальной звуковой интенсивности, которую воспринимает ухо, – **слухового порога**. Уровень звука измеряется в **децибелах (дБ)**. Обычно человек воспринимает звуки не очень тихие и не слишком громкие. Высший предел интенсивности звука, которую может выдержать человеческое ухо, называется **болевым порогом** и при высокой частоте соответствует примерно 140 дБ. Но величины слухового порога и болевого порога зависят от частоты звуковой волны.

Одна из насущных проблем современности состоит в звуковом засорении окружающей человека среды **шумом** – совокупностью громких звуков различных частот. Звуковой уровень в 20-30 децибел безопасен для человеческого организма и создает нормальный звуковой фон. Шумы, превышающие звуковой уровень в 50 дБ, отрицательно влияют на здоровье человека, его слух и нервную систему. Поэтому защита населения от шума, особенно уличного и промышленного, является актуальной и особенно важной задачей для современного общества. Решение этой проблемы заключается в строительстве зданий с повышенной звукоизоляцией и в использовании передовых технологий по фоновой защите, призванной уменьшить вредное влияние техногенных шумов и тем самым улучшить качество жизни современного человека



Звуки жизненно важны для всех живых существ, и в первую очередь для человека, поскольку значительная часть информации воспринимается им посредством слуха, который занимает второе место среди наших органов чувств после зрения. Благодаря органам слуха люди могут общаться друг с другом, ориентироваться в окружающей среде, наслаждаться музыкой. Слух позволяет воспринимать звуковые сигналы животного мира, использовать звук и ультразвук в науке, технике, медицине и т.д.

Подготовь  
сообщение

## I. Влияние шума на человеческий организм

## II. Применение ультразвука

### План работы:

1. Изучите различные источники информации по данным темам.
2. Отберите необходимые для вашего сообщения сведения.
3. Сравните отобранные материалы с материалами своих одноклассников и проверьте их точность. Посоветуйтесь с преподавателем.
4. Оформите сообщение, расположив материалы в логической последовательности и сделав их более наглядными с помощью схем, таблиц и диаграмм.
5. Оцените полученные результаты.

Новые  
физические  
понятия

- звук;
- звуковые волны;
- громкость звука;
- децибел;
- слуховой порог;
- инфразвук;
- источник звука;
- высота звука;
- интенсивность звука;
- слуховой порог;
- шум;
- ультразвук;
- уровень интенсивности звука (звуковой уровень).

Проверь  
свои знания

1. Какие волны называются звуковыми?
2. В каких средах могут распространяться звуковые волны?
3. В каких средах звуки распространяются с большей скоростью? В каких – с меньшей?
4. В каком случае звуковые волны не могут распространяться через воздух?
5. Какой частоты звуковые волны вызывают у человека слуховые ощущения?
6. Что означают понятия *ультразвук* и *инфразвук*?
7. Какие живые существа воспринимают ультразвуки, и каковы предельные значения частоты этих ультразвуков?
8. Приведите примеры естественных и искусственных источников звука. Сравните шум, производимый движущимися крыльями ласточки со звуками, исходящими от шмеля, пчелы и комара, также благодаря колебаниям их крыльев. Зная, что частота колебаний крыльев у ласточки достаточно мала по сравнению с частотой колебания крыльев комара, сделайте вывод относительно характеристик звуков, вызываемых этими колебаниями, и их зависимости от скорости колебаний.
9. Определите предельную длину звуковой волны, воспринимаемой человеческим ухом. Скорость звука в воздухе считать равной 340 м/с.

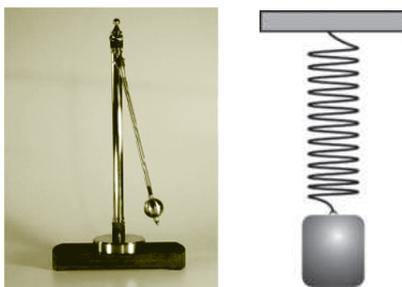
# Обобщение

В данной главе вы познакомились с колебательным и волновым движением.

Механические колебания отличаются от других видов движения двумя важными чертами: *периодичностью* и *симметрией* относительно положения равновесия. Таким образом, колебательное движение совершается в двух противоположных направлениях, повторяясь через равные или почти равные промежутки времени.

Различают два вида механических колебаний: **вынужденные** и **свободные**. Свободные колебания происходят под влиянием внутренних сил колеблющейся системы, а вынужденные - под действием периодически изменяющихся внешних сил.

Примерами механических колеблющихся систем, которые могут совершать свободные колебания, служат гравитационный и пружинный маятники. Гравитационный (математический) маятник состоит из длинного невесомого и нерастяжимого шнура и тяжелого тела (шара), размерами которого можно пренебречь (считать точкой). Пружинный маятник представляет собой тяжелое точкообразное тело, закрепленное на упругой пружине. Отклоненный от положения равновесия и затем оставленный свободно колебаться, маятник совершает повторяющиеся движения относительно оси равновесия, то есть – свободные механические колебания.



Колебательное движение характеризуется различными физическими величинами, из которых в данной главе были изучены **период** колебаний  $T$ , **частота** колебаний  $\nu$  и **амплитуда** колебаний  $A$ .

- **Период колебаний** – это промежуток времени, в течение которого совершается одно полное колебание:  $T = \frac{t}{n}$ , измеряется в *секундах* (с).
- **Частотой колебаний** называется физическая величина, равная числу колебаний, совершенных в единицу времени:  $\nu = \frac{n}{t}$ , и измеряющаяся в *герцах* (Гц).
- **Амплитуда** представляет собой максимальное смещение колеблющегося тела от положения равновесия и измеряется в единицах длины – *метрах* (м).

Движущийся (колеблющийся) маятник обладает избытком энергии по сравнению со своей энергией в состоянии покоя. В процессе колебаний постоянно происходит переход механической энергии из одной формы в другую: потенциальная энергия  $E_n \rightleftharpoons$  кинетическая энергия  $E_k$ .

В реальности свободные колебания, совершаемые колеблющимися системами, будь то пружинный маятник или гравитационный, **гасятся** (**амортизируются**) – их амплитуда постепенно уменьшается. Причина заключается в том, что колеблющееся тело не изолировано от окружа-

ющей среды, со стороны которой на него действуют силы трения, направленные всегда противоположно направлению движения. Таким образом, механическая энергия колеблющейся системы постоянно уменьшается, превращаясь во внутреннюю энергию окружающей среды, а колебания постепенно замедляются.

Колебания, поддерживаемые внешними периодическими силами, называются вынужденными колебаниями. Эти внешние силы совершают механическую работу над колеблющейся системой, компенсируя потери энергии, вызванные действием сил трения.

В случае, если силы трения настолько малы, что амплитуда колебаний существенно не уменьшается в определенный промежуток времени, колебания могут считаться негасящимися, а энергия колеблющегося тела - постоянной. В этом случае можно применить закон сохранения механической энергии, считая, что:  $E_{н макс.} = E_{к макс.}$ . К примеру, для математического маятника:  $mgh_{макс} = \frac{mv_{макс}^2}{2}$ .

Возмущения, вызванные в *упругой среде*, распространяются в ней. К примеру, колебания конца эластичного шнура могут распространяться вдоль него, колебания водной поверхности, возникшие в определенной точке, также распространяются – в форме волн. Это возможно вследствие взаимодействия частиц упругой среды, благодаря чему каждая частица, которую достигло возмущение, приводит в движение соседние частицы. В результате возмущение среды передается из одной точки в другую.

- Процесс распространения колебаний в пространстве называется *механической волной*.

Механические волны распространяются только в упругих средах и не распространяются в вакууме.

При распространении механических волн не переносится само вещество, а переносится только энергия.

- Расстояние, на которое продвигается волна в течение периода, называется *длиной волны* ( $\lambda$ ).

Скорость волны равна произведению длины волны и частоты колебаний:  $v = \lambda \cdot \nu$ .

- Волны, которые вызывают слуховые ощущения, называются *звуковыми волнами* или *звуком*.

Звуки различаются по *высоте, громкости* и другим характеристикам. Высота звука зависит от частоты звуковой волны. Звуки большой частоты считаются высокими, а с меньшими частотами – низкими.

- Человеческое ухо может воспринимать звуковые волны с частотой от 16 Гц до 20 000 Гц. Волны с частотой  $\nu < 16$  Гц называются *инфразвуком*, а волны с частотой  $\nu > 20\ 000$  Гц называются *ультразвуком*.
- Громкость звука пропорциональна амплитуде колебаний звуковой волны, которая зависит как от энергии источника звука и свойств среды, так и от расстояния между источником звука и звуковым приемником.

Одной из физических величин, часто используемых в практике для характеристики громкости звука, является уровень звука, измеряющийся в *децибелах* (дБ).

# ПРОВЕРЬ СЕБЯ

Определите уровень знаний, усвоенных вами при изучении данной главы, подсчитав количество баллов.

## I. В заданиях 1-5 дайте краткий ответ.

1. Продолжите утверждения так, чтобы они были правильными:... по 1 б.
  - а) Максимальное отклонение колеблющегося тела от положения равновесия называется .....
  - б) Промежуток времени, в течение которого совершается полное колебание, называется .....
  - в) Частота и период колебаний являются..... величинами.
  - г) Колебания, которые возникают под действием внешней периодически изменяющейся силы, называются .....
  - д) Насколько длиннее гравитационный маятник, настолько..... частота его колебаний.
  - е) В реальности механическая энергия маятника, совершающего свободные колебания, .....
  - ж) При распространении механических волн не переносится.....
2. Определите, верны ли утверждения, отмечая букву В, если утверждение верно, или букву Н, если нет:..... по 1 б.
  - а) Механические волны могут распространяться только в упругих средах. В Н
  - б) Механическая энергия колеблющейся системы остается всегда постоянной. В Н
  - в) При увеличении периода колебаний их частота уменьшается. В Н
3. С помощью стрелок установите соответствие между физическими величинами и единицами измерения:..... по 1 б.

Частота колебаний	дБ
Длина волны	м/с
Уровень звуковой интенсивности	МГц
	см
4. Во сколько раз отличаются частоты свободных колебаний двух маятников, если период одного из них равен 2 с, а другой маятник совершает 30 колебаний за 15 с?..... 3 б.
5. Сравните общие энергии двух одинаковых гравитационных маятников в следующих двух случаях:
  - а) первый маятник был отклонен от положения равновесия на высоту в два раза большую, чем второй.....2 б.
  - б) скорость первого маятника при прохождении положения равновесия в четыре раза меньше, чем скорость второго маятника.....2 б.

## II. В задании 6 дайте ответ в свободной форме.

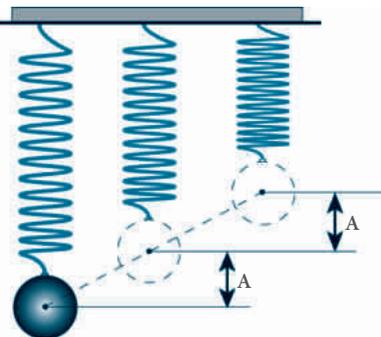
6. Предложите способ определения скорости звука в воздухе и опишите его в сообщении (объем – до десяти предложений) .... 10 б.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Проблемные ситуации

#### А. Выполни упражнения

1. Гравитационный маятник совершает 30 колебаний за 15 секунд. Определите период и частоту этих колебаний.
2. Сколько колебаний совершает маятник за 5 с, если частота его колебаний  $\nu = 4$  Гц?
3. Сколько колебаний совершает пружинный маятник в течение 45 секунд, если период его колебаний равен 3 с?
4. Пружинный маятник колеблется с частотой 0,25 Гц. Сколько колебаний он совершит за 10 с?
5. Частота колебаний крыльев комара равна 600 Гц, а период колебаний крыльев шмеля – 5 мс. Какое из этих насекомых совершает больше колебаний крыльями в одну минуту?
6. Гравитационный маятник с нитью длиной 1 м делает 4 колебания за 8 с, а другой маятник – с нитью длиной 4 м – делает 8 колебаний за 32 с. Определите периоды колебаний каждого из маятников и сравните их. Есть ли зависимость между периодом колебаний гравитационного маятника и его длиной? Сформулируйте вывод.
7. Амплитуда колебаний упругого маятника  $A = 4$  см. Частота колебаний  $\nu = 2$  Гц. Определите путь, пройденный маркированным грузом за 1 мин. Считать амплитуду в этот промежуток времени неизменной.
8. Шар массой  $m = 100$  г, подвешенный на длинной нити, отклонен от положения равновесия и находится на высоте  $h = 10$  см. Какую скорость будет иметь шар на высоте  $h_1 = 5$  см? Потерями энергии можно пренебречь. Гравитационное ускорение  $g = 10$  Н/кг.
9. Шар массой  $m = 100$  г, подвешенный на длинной нити, отклонен от положения равновесия и находится на высоте  $h = 10$  см. Какую скорость будет иметь шар на высоте  $h_1 = 5$  см? Потерями энергии можно пренебречь. Гравитационное ускорение  $g = 10$  Н/кг.
10. Тело, подвешенное на шнуре, было отклонено от положения равновесия таким образом, что высота его относительно поверхности земли увеличилась на 7,2 см. С какой скоростью это тело пройдет положение равновесия, если пренебречь потерями энергии?  $g = 10$  Н/кг.



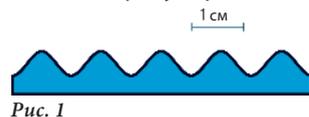
11. Рыбак заметил, что поплавок его удочки сделал за 5 с 10 колебаний. Определите скорость распространения волн, если расстояние между двумя соседними гребнями равно 1,5 м.
12. Волна распространяется по поверхности озера со скоростью 8 м/с. Найдите период и частоту колебаний лежащего на поверхности воды спасательного круга, если длина волны 2 м.
13. Лодка качается на поверхности моря с частотой 0,25 Гц. Определите скорость распространения волн, если длина волны равна 8 м.
14. Шлюпка качается на морских волнах с частотой 0,5 Гц. На какое расстояние переместится волна за 20 с, если расстояние между двумя соседними гребнями равно 6 м?
15. В озеро бросили камень. Волна, созданная им, достигла берега за 10 с. Расстояние между двумя гребнями волн равно 80 см. Определите, на каком расстоянии от берега был брошен камень, если за 2 с волна четыре раза ударила о берег.
16. Скорость волнового движения крови по артерии человека – 8 м/с, а длительность всего цикла работы сердца равна 0,8 с. Определите длину волны и частоту ударов сердца.
17. Катер качается на морских волнах, совершая 15 колебаний за 30 секунд. Определите длину волны, если скорость распространения морских волн 3 м/с.
18. Скорость первой волны в 2 раза больше, чем второй. Во сколько раз больше частота второй волны, если её длина в 3 раза меньше, чем длина первой волны?
19. Пароход движется по морю со скоростью 54 км/ч. Расстояние между гребнями волн 10 м, а период их колебаний – 2 с. С какой частотой будут биться волны о корабль, если он движется:
  - а) в направлении распространения волн;
  - б) противоположно направлению движения волн?
20. При температуре 20 °С скорость звука в воздухе равна 343 м/с. Определите скорость звука в чугуне, если известно, что в этой среде средняя скорость звука в 10,5 раза больше, чем в воздухе.
21. Определите длину звуковой волны в воде, если скорость её распространения в этой среде равна 1500 м/с, а частота колебаний – 740 Гц.
22. Вычислите скорость звука в воде, если колебания с периодом 0,01 с вызывают звуковую волну длиной 14,35 м.
23. На расстоянии 510 м от наблюдателя по железнодорожному рельсу ударили молотком. Наблюдатель, приложив ухо к рельсу, услышал звук на 1,4 с раньше, чем по воздуху. Чему равна скорость звука, распространяющегося по рельсам, если известно, что скорость звука в воздухе равна 340 м/с?

24. Звук залпа артиллерийского орудия был услышан через 20 с после того, как появилась вспышка. Определите расстояние между наблюдателем и орудием.
25. Частота звуковой волны в воздухе самого низкого мужского голоса равна 79,1 Гц, а самого высокого женского голоса 1360 Гц. Определите длину волны этих голосов.
26. Во сколько раз изменится длина звуковой волны при переходе её из воды в воздух, если скорость распространения звука в воздухе считается равной 340 м/с, а в воде 1500 м/с?
27. Во время грозы человек услышал гром через 10 с после того, как увидел молнию. На каком расстоянии от него в атмосфере произошел электрический разряд?
28. Атмосферный электрический разряд произошел на расстоянии 1,7 км от наблюдателя. Через сколько минут наблюдатель услышит звук грома?
29. Камертон производит звуковую волну с частотой 440 Гц. Определите длину этой волны:  
а) в воздухе;  
б) в воде.
30. Человеческое ухо более чувствительно к звукам с длиной волны от 11,3 см до 22,6 см. Определите частоту волн этого диапазона.
31. Как изменятся частота, период и длина волны при переходе звука из воздуха в сталь? Скорость звука в стали равна 5 000 м/с.
32. Длина звуковой волны одной и той же частоты в воздухе в десять раз меньше, чем в кирпиче. Определите скорость распространения звука в кирпиче.
33. Лодка качается на волнах, совершая 10 колебаний за 20 с. Определите:  
– период колебаний лодки;  
– частоту колебаний лодки;  
– скорость распространения волны, если расстояние между двумя гребнями волн равно 3 м;  
– расстояние, на которое распространяется волна в течение 15 с.
34. Стрелок услышал удар пули о мишень через секунду после выстрела. Найдите расстояние, пройденное пулей, если известно, что ее скорость равна 500 м/с, а скорость звука в воздухе в данных условиях – 333 м/с.



## В. Экспериментируй

1. Изготовьте вертикальный пружинный маятник и экспериментально определите период и частоту его колебаний, используя различные маркированные грузы. Каким образом зависят период и частота колебаний от массы этих грузов? Сформулируйте выводы.
2. Как изменится период колебаний пружинного маятника, если его переместить из воздуха в воду? Найдите решение экспериментальным путем.
3. Гравитационный маятник длиной 60 см колеблется с амплитудой 5 см. Как изменится период колебаний маятника при увеличении амплитуды до 10 см? Найдите решение экспериментальным путем и сформулируйте вывод.
4. Что следует предпринять для изготовления гравитационного маятника, который отбивает секунды ( $T = 2$  с)? Определите план работы и решите экспериментально эту задачу. Какое расстояние, выраженное в амплитудах, пройдет этот маятник в течение 5 с, если пренебречь потерями энергии?
5. Каким образом регулируется точность часов с маятником? Предложите экспериментальную модель для описания способа регулировки.
6. Определите длину волн на рис. 1.



## С. Исследуй

1. Исследуйте действие сил на груз пружинного маятника во время его колебаний. Для этого зарисуйте маятник в различных его состояниях, включая и состояние равновесия, и укажите силы, которые действуют на груз в каждом из этих состояний. Определите силу, под действием которой груз возвращается в положение равновесия.
2. Определите опытным путем, зависит ли период и частота колебаний гравитационного маятника от массы груза. Сформулируйте выводы.
3. Изменяется ли скорость звука, издаваемого камертоном, при уменьшении температуры воздуха? Объясните свой ответ.
4. Исследуйте любой струнный музыкальный инструмент. Зависит ли частота издаваемых им звуков от толщины струн и длины их колеблющейся части? Если зависит, то каким образом?
5. Подберите материалы о классификации музыкальных звуков по их частоте. Напишите реферат на эту тему.
6. Спроектируйте установку, с помощью которой можно было бы исследовать особенности распространения волн на поверхности воды при встрече с препятствием. Изготовьте установку и испытайте ее на практике, направляя волны на препятствие под разными углами и отслеживая направление распространения волн после его прохождения. Сформулируйте выводы по результатам наблюдения.

# СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

Данный тест предназначен для определения уровня знаний (в баллах), приобретенных вами при изучении этой главы.

## I. В заданиях 1-3 выберите правильный ответ из предложенных вариантов и отметьте его.

1. Маятник колеблется с частотой 0,2 Гц. Период колебаний равен . . . . 2 б.  
а) 2 с; б) 0,5 с; в) 5 с; г) 10 с; д) другой вариант.
2. Крылья пчелы колеблются с частотой 200 Гц. Количество колебаний за 5 с равно . . . . . 3 б.  
а) 250; б) 40; в) 1200; г) 1000; д) другой вариант.
3. Во время грозы на высоте 5,1 км от места наблюдения произошел атмосферный электрический разряд. Через сколько времени был услышан гром? . . . . . 3 б.  
а) 5 с; б) 10 с; в) 15 с; г) 25 с; д) другой вариант.

## II. В заданиях 4-7 представьте полное решение.

4. Маятник совершает 30 колебаний за 15 с, частота колебаний другого маятника равна 4 Гц. Определите:  
а) соотношение периодов колебаний этих двух маятников . . . . . 3 б.  
б) соотношение их частот . . . . . 3 б.
5. Лодка качается на волнах, совершая 10 колебаний за 20 с. Расстояние между двумя соседними волновыми гребнями равно 1 м. Определите:  
а) частоту колебаний волны . . . . . 2 б.  
б) скорость распространения волны . . . . . 3 б.  
в) частоту ударов волны при движении лодки против волн со скоростью 9 км/ч . . . . . 4 б.
6. Гравитационный маятник был отклонен от положения равновесия под таким углом, что груз массой 50 г переместился на 5 см вверх от положения равновесия. Считая, что потерями энергии можно пренебречь, определите:  
а) потенциальную энергию груза на максимальной высоте . . . . . 3 б.  
б) максимальную кинетическую энергию . . . . . 3 б.  
в) скорость груза в момент прохождения им положения равновесия 3 б.
7. Рабочий ударил молотком по железнодорожному рельсу. Его товарищ, находящийся на расстоянии 255 м от него, услышал звук, распространившийся в воздухе, с опозданием на 0,7 с по сравнению со звуком, распространившимся по рельсу. Определите:  
а) скорость звука в рельсе, если скорость звука в воздухе 340 м/с . . 4 б.  
б) во сколько раз отличаются скорости распространения звука в этих двух средах . . . . . 2 б.

## III. В задании 8 дайте ответ в свободной форме.

8. Опишите этапы изготовления маятника с периодом колебаний 2 с. Перечислите необходимые для этого материалы . . . . . 5 б.

## ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 1. Теоретическая часть

- 1.1. Внутренняя энергия тел
- 1.2. Изменение внутренней энергии тел.  
Количество теплоты
- 1.3. Тепловые процессы превращения агрегатных состояний вещества
- 1.4. Производство тепла.  
Способы передачи тепла
- 1.5. Взаимные превращения механической работы и теплоты. Тепловой двигатель

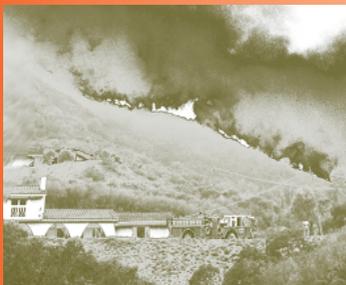
*Обобщение*

*Проверь себя*

### 2. Практическая часть

- 2.1. Проблемные ситуации
  - А. Выполни упражнения
  - В. Экспериментируй
  - С. Исследуй

*Суммативный тест*





## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Внутренняя энергия тел

#### Информация

Как вы знаете из курса VII класса, физическое тело может находиться в двух механических состояниях: *в состоянии движения* и *в состоянии покоя*. Эти два состояния физического тела характеризуют его внешнее поведение как единого целого. В предыдущие годы на уроках естествознания, физики и химии вы узнали, что в природе все тела состоят из веществ. Любое вещество может быть поделено вплоть до мельчайшей частицы, которая сохраняет его физические свойства, – *молекулы*. Считаясь очень малыми физическими телами, молекулы находятся на некотором расстоянии одна от другой, постоянно хаотически двигаются и взаимодействуют между собой (притягиваются и отталкиваются). Состояние постоянного движения молекул подтверждается явлением *диффузии* – взаимным проникновением молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого. Этот процесс ускоряется при увеличении температуры веществ, что доказывает зависимость средней скорости молекул от температуры.

Таким образом, физическое тело, находящееся в движении или в покое, одновременно находится в определенном *тепловом состоянии*, характеризующем температурой.

#### Запомни!

Тепловое состояние физического тела характеризует его **внутреннее состояние** и определяется физической величиной, называемой **температурой**.

#### Практическая деятельность

- Измерьте температуру воды в стакане.
- Опишите в тетради процесс измерения температуры, используя известные вам понятия: **тепловой контакт** и **тепловое равновесие**.
- Опираясь на знания, полученные вами ранее, объясните принцип действия термометра.



Рис. 1

#### Определения:

Физическая величина, характеризующая тепловое состояние тела или системы тел, находящихся в тепловом равновесии, называется **температурой**. Переход физического тела из одного состояния теплового равновесия в другое называется **тепловым процессом**.

#### Историческая справка

Слово *термометр* происходит от греческих слов *thermos* – теплый и *metron* – мера. Первый прибор для оценивания температуры был изобретен в 1597 году Галилео Галилеем (1564-1642) и назывался *термоскопом*. Термоскоп

Галилея не имел шкалы измерения, и, таким образом, температура не могла быть численно измерена. Первые температурные шкалы появились в начале XVII в. В 1701 году Исаак Ньютон (1642-1727) описал шкалу в 12 градусов: отметка 0 градусов соответствовала температуре таяния льда, а 12 градусов – температуре человеческого тела в здоровом состоянии.

В настоящее время существуют различные температурные шкалы: Цельсия (°C), Кельвина (K), Фаренгейта (°F) и Реомюра (R). Самой популярной остается шкала Цельсия. В температурной шкале шведского ученого Андерса Цельсия используются две основные точки: 0° – температура таяния льда и 100° – температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении.

Английский ученый У. Томсон (Кельвин) ввел так называемую абсолютную шкалу температур. Начало этой шкалы (0) называется «абсолютным нулем» и соответствует состоянию, когда тепловое движение молекул замирает (прекращается). Единица температуры по шкале Кельвина соответствует одному градусу по шкале Цельсия.

В Международной системе единиц (СИ) абсолютная температура является фундаментальной физической величиной и обозначается буквой  $T$ . Соотношение между температурой по шкале Кельвина и температурой по шкале Цельсия таково:  $T = (t + 273,15)K$  (1).

### Экспериментируй

#### Эксперимент № 1

- Приготовьте для нагревания стеклянную реторту с водой (рис. 2).
- Укажите начальную температуру воды в реторте до нагревания.
- В течение 8-10 минут держите реторту над огнем спиртовки.
- Наблюдайте, что происходит с температурой воды в тепловом процессе нагревания. Укажите конечную температуру воды.
- Объясните результаты эксперимента.

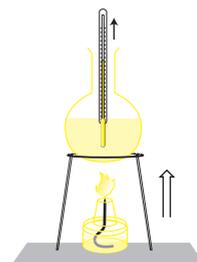


Рис. 2

**Вывод:** В тепловом процессе нагревания температура тела увеличивается.

#### Эксперимент № 2

- Прекратите нагревание воды (рис. 3) и примите температуру нагретой воды как изначальную.
- Наблюдайте, что происходит с температурой воды в тепловом процессе охлаждения в течение 10-15 минут.
- Объясните результаты эксперимента.

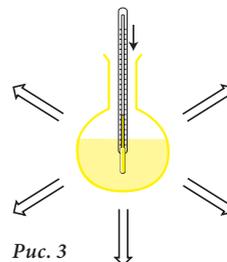


Рис. 3

**Вывод:** В тепловом процессе охлаждения температура тела уменьшается.

**Запомни!**

Тепловое состояние физического тела зависит от его температуры, то есть от средней скорости его молекул.

Изучив механические явления в VII классе, вы уже знаете, что физические тела (макротела), находящиеся в движении, обладают *кинетической энергией* (энергией движения), а также они обладают *потенциальной энергией*, находясь на какой-либо высоте относительно поверхности Земли. Потенциальную энергию также называют *энергией положения*, или энергией взаимодействия тела с Землей.

Молекулы и атомы, из которых состоят физические тела, тоже считаются физическими телами, обладающими собственными *кинетической* и *потенциальной энергиями*. Величины этих энергий очень малы, поскольку мала масса молекулы. Но энергия всех молекул, составляющих физическое тело (макротело), достаточно велика, так как их количество огромно.

**Знаешь ли, что...**

Одна песчинка состоит из 50 000 миллионов молекул. Это число трудно себе представить.

**Определение:**

Энергия движения и взаимодействия элементарных частиц, из которых состоит тело, называется **внутренней энергией тела**.

Внутренняя энергия тела обозначается буквой  $U$ .

О величине внутренней энергии тела можно судить по величине его температуры. При нагревании тела увеличивается его внутренняя энергия, поскольку возрастает средняя скорость движения его частиц, что влияет на рост их кинетической энергии. Наоборот, при остывании тела, снижении его температуры уменьшается и его внутренняя энергия.

**Выводы:**

- Внутренняя энергия тела, как и температура, является физической величиной, характеризующей тепловое состояние тела.
- Изменение внутренней энергии тела зависит только от его теплового состояния: начального ( $U_1$ ) и конечного ( $U_2$ ).

**Определения:**

Процесс изменения внутренней энергии тела, который не сопровождается выполнением механической работы, называется **теплопередачей**. Физическая величина, характеризующая изменение внутренней энергии тела в процессе теплопередачи, называется **количеством теплоты**.

Количество теплоты обозначается буквой  $Q$ . Единицей измерения теплоты в СИ является **джоуль** (Дж).

Таким образом, при передаче теплоты от одного тела к другому происходит изменение их внутренних энергий. Или, говоря иначе, внутренняя энергия одного тела растет благодаря количеству теплоты, принятому им от другого тела. Значит, можем написать выражение:

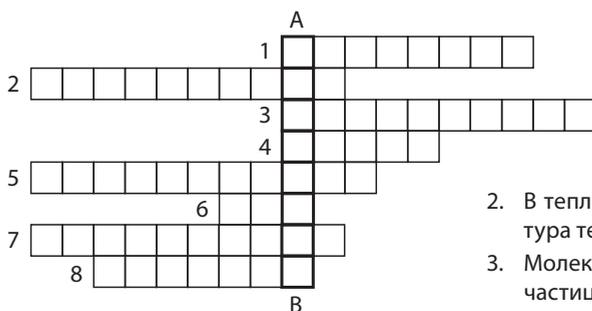
$$U_2 - U_1 = Q \quad (2).$$

Новые  
физические  
понятия

- внутреннее состояние;
- тепловой процесс;
- количество теплоты;
- температура;
- теплопередача;
- внутренняя энергия.

Проверь  
свои знания

1. Объясните, что означает понятие *внутреннее состояние тела*. Какими физическими величинами оно характеризуется?
2. Что мы называем *температурой*? Что такое *тепловой процесс*?
3. Опишите процесс измерения температуры, используя понятия *тепловой контакт* и *тепловое равновесие*.
4. Определите понятие *внутренняя энергия*.
5. Найдите связь между понятиями: *внутренняя энергия, передача тепла* и *количество теплоты*.
6. Составьте по одному предложению со следующими словами: *температура, тепловой процесс, внутренняя энергия, передача тепла* и *количество теплоты*.
7. Объясните математическую зависимость между *изменениями внутренней энергии* тела и *количеством теплоты*.
8. Какова единица измерения внутренней энергии и количества теплоты в СИ?
9. Приведите 3-4 примера увеличения внутренней энергии тел с помощью передачи тепла.
10. Переведите в единицы СИ:  
а)  $73\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      б)  $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      в)  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
11. Разгадайте кроссворд. Правильно ответив на восемь вопросов, в столбце АВ получите наименование рассмотренного физического явления. Опишите это явление.



1. Физическое тело может находиться в одном из двух механических состояний: состоянии покоя и состоянии ...

2. В тепловом процессе ... температура тела увеличивается.

3. Молекула – это самая маленькая частица, которая сохраняет все ... свойства вещества.

4. Состояние вещества всегда имеет собственную ... и объем
5. ... – это физическая величина, характеризующая тепловое состояние тела или системы тел, находящихся в тепловом равновесии.
6. ... занимает весь объем сосуда, в котором находится.
7. В тепловом процессе ... температура тела уменьшается
8. Единица температуры по шкале Кельвина соответствует одному градусу по шкале ...

## 1.2. Изменение внутренней энергии тела. Количество теплоты

**Информация** > Из предыдущего урока вы знаете, что внутренняя энергия физического тела, также как и его температура, является *физической величиной*, характеризующей тепловое состояние тела. Следовательно, о величине внутренней энергии можно судить по температуре тела. Изменение внутренней энергии происходит благодаря передаче теплоты: внутренняя энергия тела растет, когда оно получает от другого тела определенное количество теплоты  $Q$ , или уменьшается, когда оно передает определенное количество теплоты  $Q$  другому телу.

Далее на основе опытов определим, от каких физических величин зависит количество теплоты  $Q$ , принятое или отданное телом.

**Экспериментируй** >

### Эксперимент № 1

- Нагрейте реторту с водой на огне спиртовки на 4-5 °С (рис. 1).

**Вывод:** *В воде в реторте было передано небольшое количество теплоты, поэтому изменение ее температуры невелико.*

- Продолжайте нагревать реторту, пока температура воды не вырастет до 40-50 °С.
- Сравните количества теплоты, переданные воде в обоих случаях.

**Запомни!** >

*Изменение температуры тела на  $\Delta^{\circ}t$  зависит от количества теплоты  $Q$ , полученного или отданного им. Между этими физическими величинами существует прямо пропорциональная зависимость, то есть:  $\Delta^{\circ}t \sim Q$ .*

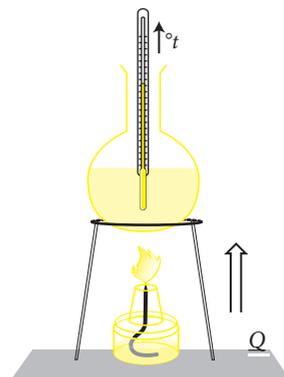


Рис. 1

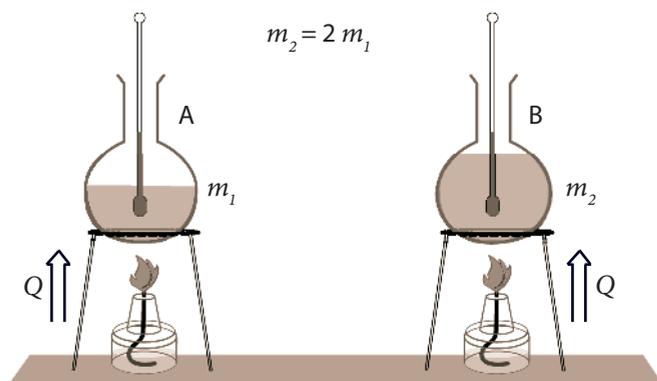


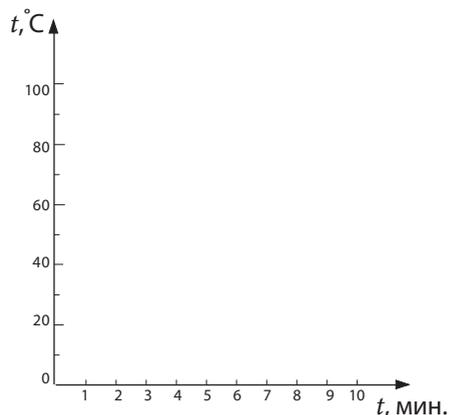
Рис. 2

### Эксперимент № 2

- Налейте в два одинаковых сосуда *A* и *B* воду соответственно 100 см<sup>3</sup> и 200 см<sup>3</sup>.
- Измерьте начальную температуру воды в обоих сосудах.
- Нагревайте сосуды с водой на двух одинаковых спиртовках в течение 5 мин. (рис. 2).

- Начертите таблицу и заполните ее данными температуры воды в обоих сосудах в каждую минуту.
- Представьте графически увеличение температуры воды в каждом из сосудов.
- Сформулируйте вывод.

Время (мин.)	Температура (°C)	
	Сосуд А	Сосуд В
0		
1		
2		
3		
4		
5		
6		



**Запомни!**

Изменение температуры  $\Delta t$  тела зависит от массы тела. Между этими физическими величинами существует обратно пропорциональная зависимость, то есть:  $\Delta t \sim Q$

### Эксперимент № 3

- Налейте в два одинаковых сосуда А и В одинаковое количество ( $m_1 = m_2$ ) воды и растительного масла.
- Нагревайте сосуды на двух одинаковых спиртовках в течение 5 мин., измерив начальную температуру масла и воды (рис. 3).

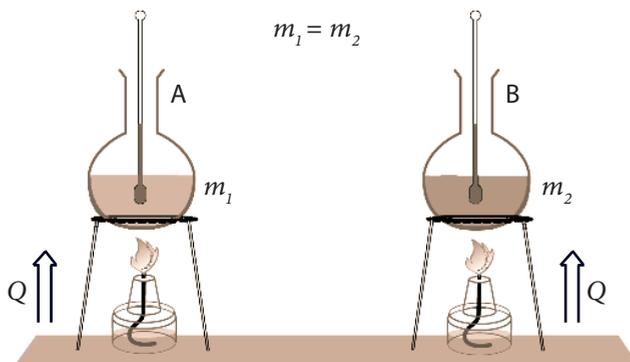


Рис. 3

- Начертите таблицу (как в эксперименте № 2) и заполните ее данными температуры жидкостей из обоих сосудов в каждую минуту.
- Представьте графически увеличение температуры воды и масла в одинаковых условиях.
- Сформулируйте вывод.

**Запомни!** > Изменение температуры  $\Delta t$  тела зависит от природы вещества.

**Определение:** > Физическая величина, равная количеству теплоты, полученной или отданной для изменения температуры единицы массы тела на один градус, называется **удельной теплотой**.

Удельная теплота обозначается буквой  $c$ . Она характеризует тепловые свойства вещества, из которого состоит тело, и является **постоянной величиной (константой)** для данного вещества.

**Выводы:** Изменение температуры тела зависит от следующих физических величин:

- количество теплоты, полученной или отданной телом,  $Q$ ;
- масса тела,  $m$ ;
- удельная теплота вещества,  $c$ .

Проанализировав отношения между этими величинами, можем написать математическое выражение количества теплоты  $Q$ , полученной или отданной телом для изменения его температуры в интервале  $\Delta t$ :  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$  (1).

Отношение (1) представляет собой формулу вычисления количества теплоты. Из него можно вывести формулу удельной теплоты  $c$ :  $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}$  (2).

Согласно выражению (2), единицей измерения удельной теплоты является:

$$[c]_{\text{СИ}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Значения удельной теплоты некоторых веществ представлены в таблице ниже:

Вещество	Алюминий	Сталь	Железо	Медь и цинк	Серебро и олово	Свинец и ртуть	Золото
Удельная теплота $c$ (Дж/(кг · °С))	920	500	460	380	250	140	130
Вещество	Вода	Спирт	Глицерин	Ацетон	Нефть и лед	Бензин	Раст. масло
Удельная теплота $c$ (Дж/(кг · °С))	4185	2482	2430	2180	2090	1880	1700

Проанализировав эксперимент № 2, вы установили, что для нагрева до одинаковой температуры двух тел, состоящих из одного вещества, но имеющих различную массу, необходимо разное количество теплоты.

В этом случае говорят, что каждое тело имеет определенную **теплоемкость**, которая зависит от массы тела и удельной теплоты вещества, из которого оно состоит.

**Определение:** > Количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела на  $1^\circ\text{C}$ , называют **теплоемкостью**.

Теплоемкость как физическая величина обозначается буквой  $C$ . Она определяется соотношением:

$$C = \frac{Q}{\Delta t} \quad (3).$$

Используя формулу (1), устанавливаем связь между удельной теплотой вещества  $c$  и теплоемкостью тела  $C$ :

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{c \cdot m \cdot \Delta t}{\Delta t} = c \cdot m; \quad C = c \cdot m \quad (4).$$

Единицей измерения теплоемкости в СИ является  $[C]_{\text{СИ}} = \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$ .

На практике часто бывает необходимо определить количество теплоты, переданной в тепловом процессе, или определить удельную теплоту вещества, из которого состоит тело.

**Запомни!**  Раздел физики, который занимается методами и инструментами для определения количества теплоты  $Q$  и удельной теплоты  $c$ , называется **калориметрией**.

Прибор, используемый для экспериментального определения количества теплоты, полученной и отданной телами, а также для определения удельной теплоты тел, называют **калориметром**.

В тепловом процессе, происходящем в калориметре, количество теплоты, отданное нагретым телом ( $Q_{\text{отд.}}$ ), равно количеству теплоты, полученному холодным телом (водой), калориметром, смесителем и термометром ( $Q_{\text{получ.}}$ ), то есть:

$$Q_{\text{получ.}} = |Q_{\text{отд.}}| \quad \text{или} \quad Q_{\text{получ.}} = -Q_{\text{отд.}} \quad \text{значит} \quad Q_{\text{получ.}} + Q_{\text{отд.}} = 0 \quad (5).$$

Это выражение называется **уравнением теплового баланса**.

**Новые физические понятия**  **• удельная теплота;** **• теплоемкость;**  
**• уравнение теплового баланса;** **• калориметрия.**

- Проверь свои знания** 
1. Назовите физические величины, от которых зависит изменение температуры тела.
  2. Напишите математическое выражение количества теплоты  $Q$ , полученной или отданной телом, и назовите физические величины, которые его определяют.
  3. Найдите связь между изменением температуры физического тела и изменением его внутренней энергии.
  4. Определите, что означает понятие *удельная теплота*.
  5. Куски алюминия и меди одинакового объема получают одно и то же количество теплоты. Температура какого куска изменится больше? Почему?
  6. Какое количество теплоты  $Q$  выделится при охлаждении на  $25^\circ\text{C}$  воды массой  $120$  кг?
  7. Напишите и объясните *уравнение теплового баланса*.
  8. Были смешаны  $0,8$  кг воды температурой  $25^\circ\text{C}$  и  $0,2$  кг воды температурой  $100^\circ\text{C}$ . Температура полученной смеси  $40^\circ\text{C}$ . Вычислите количества теплоты, отданной и полученной частями этой смеси, и сравните их.

# 1.3. Тепловые процессы превращения агрегатных состояний вещества

## Информация

Все тепловые процессы нагревания и охлаждения, изученные на предыдущих уроках, были объяснены на основе теории атомного строения вещества, с использованием следующих основных понятий: тепловое состояние, тепловой контакт, тепловое равновесие, теплота, количество теплоты, температура, внутренняя энергия, удельная теплота, теплоемкость тела и теплопередача.



Кроме тепловых процессов нагревания и охлаждения, в обыденной жизни мы встречаем смены агрегатных состояний веществ. Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое также является тепловым процессом и объясняется на основе атомной теории строения вещества.

Ярким примером смены агрегатного состояния вещества может служить изменение агрегатного состояния воды на поверхности водоемов при переходе от одного времени года к другому.

Далее мы экспериментально исследуем превращения агрегатных состояний.

### Эксперимент № 1

- Нагрейте сосуд со льдом (или нафталином) (рис. 1) на водяной бане, обозначив его начальную температуру.
- Наблюдайте за изменением температуры:
  - в процессе нагревания льда;
  - при появлении первых капель жидкости на поверхности льда (нафталина);
  - в процессе перехода льда (нафталина) из твердого состояния в жидкое.
- Сформулируйте выводы.
- Продолжайте нагревание сосуда с водой до 85-90 °С.
- Сформулируйте выводы.



Рис. 1

Поскольку в каждую единицу времени веществу передается одинаковое количество теплоты, то изменение температуры во время этого опыта можно представить как график зависимости температуры от времени (рис. 2). Телу от источника

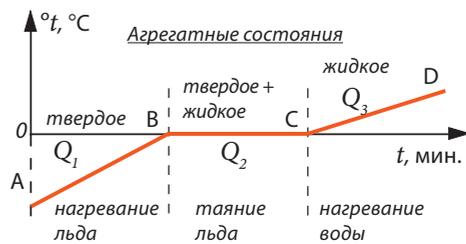


Рис. 2 Тепловые процессы

тепла передаются следующие количества теплоты:

- $Q_1$  – для нагревания льда до температуры таяния;
- $Q_2$  – для таяния льда;
- $Q_3$  – для нагревания воды, полученной при таянии льда.

**Определения:**

Процесс перехода вещества из твердого агрегатного состояния в жидкое называется **плавлением**.  
Процесс перехода вещества из жидкого агрегатного состояния в твердое называется **отвердеванием** (или **кристаллизацией**).

**Выводы:** В этом эксперименте количество теплоты, полученное сосудом со льдом (нафталином) от пламени спиртовки, является причиной двух различных тепловых процессов:

- увеличения температуры льда или воды;
- смены агрегатного состояния вещества без изменения его температуры.

В приведенной ниже таблице представлены температуры плавления некоторых веществ (при нормальном атмосферном давлении):

Вещество	Ртуть	Лед	Свинец	Цинк	Алюминий	Латунь	Серебро	Золото	Медь	Железо
Температура плавления, °C	-39	0	327	430	660	900	960	1063	1083	1535

**Запомни!**

**Плавление и отвердевание** (кристаллизация) – два противоположных тепловых процесса.  
Каждое кристаллическое вещество плавится и отвердевает при некоторой постоянной температуре, называемой **температурой плавления** (отвердевания).

Что происходит в процессе *плавления* (таяния) льда и *отвердевания* воды?

Во время проведенного эксперимента вы наблюдали, что в процессе таяния льда (участок BC, рис. 2) пламя спиртовки непрерывно нагревало водяную баню, следовательно, и лед в сосуде. То есть лед непрерывно получал тепло. Это тепло было использовано исключительно для увеличения внутренней энергии льда. Увеличение кинетической и потенциальной энергии частиц привело к разрушению его кристаллической решетки. Таким образом, вода перешла из твердого состояния в жидкое. Ясно, что если бы масса льда была больше, было бы необходимо большее количество теплоты.

**Определение:**

**Количество теплоты**, необходимое для превращения единицы массы твердого тела в жидкое состояние при неизменной температуре плавления, называется **удельной теплотой плавления вещества**.

Удельная теплота плавления обозначается буквой  $\lambda$  (лямбда).

Из определения следует:  $\lambda_{пл.} = Q/m$ .

Единицу измерения удельной теплоты плавления в СИ находим из

определения: 
$$[\lambda_{пл.}]_{СИ} = \frac{[Q]_{СИ}}{[m]_{СИ}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

В таблице приведена удельная теплота плавления некоторых веществ:

Вещество	Алюминий	Лед	Железо	Медь	Цинк	Серебро	Золото	Свинец	Ртуть
Удельная теплота плавления, $10^5$ Дж/кг	3,9	3,4	2,7	2,1	1,2	0,87	0,67	0,25	0,12

Абсолютное количество теплоты, поглощенной при плавлении вещества массой  $m$ , можно вычислить с помощью отношения:

$$Q = \lambda_{пл.} \cdot m \quad (1).$$

Такое же количество теплоты выделяется и при отвердевании вещества массой  $m$ .

**Запомни!** При плавлении **тело поглощает** теплоту, а при отвердевании **выделяет** теплоту, отдавая ее окружающей среде.

### Эксперимент № 2

- На стеклянную пластинку с помощью пипетки капните несколько капель спирта (рис. 3).
- Понаблюдайте и опишите, что происходит с каплями спирта в течение 3-5 минут.

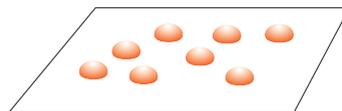


Рис. 3

**Определения:** Совокупность молекул данного вещества, покидающих жидкость, образует пар. Переход вещества из жидкого агрегатного состояния в газообразное (пар) называется **парообразованием**. Парообразование, происходящее только со свободной поверхности жидкости, называется **испарением**.

**Удельную теплоту парообразования жидкости** определяют так же, как и удельную теплоту плавления

**Определение:** Количество теплоты, необходимое для превращения единицы массы вещества из жидкого состояния в паробразное **при температуре кипения**, называют **удельной теплотой парообразования**.

Удельная теплота парообразования обозначается  $\lambda_{пар.}$  и определяется формулой:  $\lambda_{пар.} = \frac{Q}{m}$ .

В системе СИ единицей измерения удельной теплоты парообразования является 1 Дж/кг.

Вещество	Вода	Спирт	Эфир	Ртуть
Удельная теплота парообразования, $10^5$ Дж/кг	23	9,0	4,0	3,0

### Эксперимент № 3

- В стеклянную реторту налейте воду и нагрейте ее над пламенем спиртовки (рис. 4).
- С помощью термометра следите за температурой в процессе нагрева воды до 100 °С (при нормальном атмосферном давлении).
- Опишите этот процесс.
- Сформулируйте выводы.

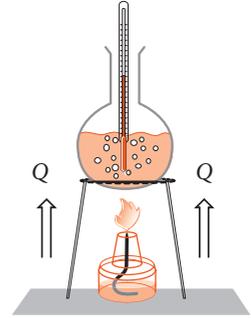


Рис. 4

**Определение:** Процесс **парообразования**, протекающий во всем объеме жидкости, называют **кипением**.

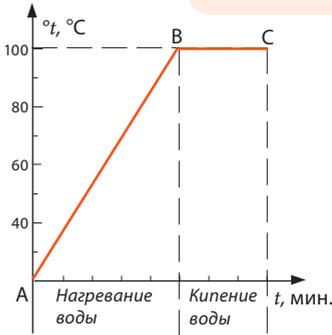


Рис. 5

Изменение температуры воды в реторте при этом процессе можно представить графически (рис. 5).

- Установите на реторту с кипящей водой стеклянную пластинку.
- Что наблюдаете?
- Сформулируйте вывод.

**Определение:** Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое состояние называется **конденсацией**.

**Запомни!** **Испарение** происходит со свободной поверхности жидкости. **Кипение** происходит во всем объеме жидкости. **Парообразование** и **конденсация** – противоположные физические явления.

Температура кипения разных жидкостей различна. В таблице представлены температуры кипения некоторых веществ.

Вещество	Эфир	Спирт	Вода Молоко	Ртуть	Золото	Свинец	Медь	Железо
Температура кипения, °С	35	78	100	357	1530	1740	2567	2750

### Узнай больше! > Как происходит кипение?

На дне и на внутренних стенках сосуда с жидкостью появляются маленькие пузырьки с газами, которые увеличиваются с повышением температуры из-за того, что воздух и пары воды в них расширяются.

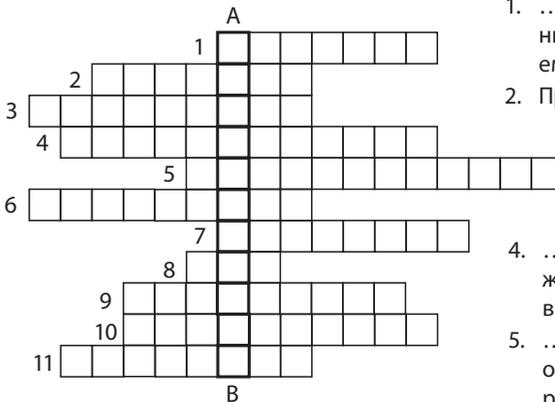
Согласно закону Архимеда, увеличиваясь в объеме, они поднимаются к поверхности воды и, соприкасаясь с комнатным воздухом, лопаются. Пары воды выходят из пузырьков наружу и распространяются в воздухе.

Новые  
физические  
понятия

- отвердевание (кристаллизация);
- плавление;
- парообразование;
- конденсация;
- удельная теплота плавления;
- испарение;
- удельная теплота парообразования;
- кипение.

Проверь  
свои знания

1. Дайте определение тепловым процессам *плавление* и *отвердевание*.
2. На что тратится количество теплоты, полученное твердым телом при плавлении?
3. Что мы называем *удельной теплотой плавления*?
4. Напишите математическое выражение удельной теплоты плавления и определите ее единицу измерения в СИ.
5. Дайте определение тепловым процессам *испарение*, *парообразование*, *кипение* и *конденсация*.
6. Что мы называем *удельной теплотой парообразования*?
7. Напишите математическое выражение удельной теплоты парообразования и определите ее единицу измерения в СИ.
8. Чем отличаются *испарение* и *кипение*?
9. Что происходит с внутренней энергией льда при его таянии? А с внутренней энергией воды при ее кристаллизации?
10. Почему свинец можно растопить на огне газовой плиты, а железо – нет?
11. Почему тесто и глина при нагревании не тают, а отвердевают?
12. Какие количества теплоты необходимы для превращения в жидкость 1 кг алюминия и 1 кг меди, имеющих температуру плавления?
13. Разгадайте кроссворд. Правильно ответив на восемь вопросов, в столбце *AB* получите наименование изученного физического явления. Опишите это явление.



1. ... – это процесс парообразования, протекающий во всем объеме жидкости.
2. При плавлении тело поглощает ...
3. Процесс перехода из твердого агрегатного состояния в жидкое состояние называется ...
4. ... – это процесс перехода из жидкого агрегатного состояния в твердое.
5. ... – это количество теплоты, необходимое для изменения температуры тела на один градус.
6. ... происходит со свободной поверхности жидкости.
7. Масса или объем не влияют на ... испарения жидкости.
8. ... – совокупность молекул данного вещества, покидающих жидкость.
9. Переход физического тела из одного состояния теплового равновесия в другое называется тепловым ...
10. Физическая величина, характеризующая изменение внутренней энергии тела в процессе теплопередачи, называется ... теплоты.
11. При отвердевании вещество ... теплоту в окружающую среду.

## 1.4. Производство тепла.

### Способы передачи тепла

#### Информация

Из изученного ранее и из повседневной жизни вы знаете, что процессы нагревания невозможны без тепла (тепловой энергии). Получение тепла было и будет важнейшей проблемой существования земной цивилизации. Подтверждением этому могут служить самые обычные нужды, с которыми человек встречается ежедневно. Это приготовление пищи, обогрев жилых помещений и многое другое. Человеку знакомы различные способы получения тепла, самый распространенный из которых – *горение*.

На уроках естествознания в V классе и химии в VII классе вам рассказывали об *органических веществах*, которые состоят из молекул, созданных на основе атомов углерода (С). При горении атом углерода соединяется с двумя атомами кислорода (О), который находится в воздухе, формируя таким образом молекулу двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) и выделяя при этом теплоту.

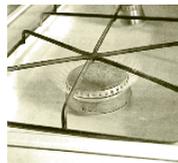
#### Запомни!

*Вещества, при сгорании которых выделяется тепло, называются топливом.*

С самых древних времен человек использует процесс горения топлива для производства тепла. Первым топливом была *древесина*, и она остается пока единственным распространенным возобновляющимся видом топлива. Затем, начиная с XVIII века, периода первой промышленной революции, главное место среди видов топлива занял *уголь*. В последнее время уголь используется все меньше, ему на смену пришли *нефть* и *природный газ*. Природная нефть является комплексом многих веществ. Путем дистилляции из нее получают: *различные газы* (этан, пропан, бутан), *бензин*, *керосин*, *дизельное топливо* и *мазут*.

Природный горючий газ располагается в земной коре, под постоянным мощным давлением, и содержит большую долю метана – легковозгорающегося вещества. По сравнению с твердыми и жидкими видами топлива газ обладает рядом преимуществ, а именно:

- легко перемещается в трубопроводах;
- позволяет регулировать интенсивность горения;
- оставляет минимальные отходы после использования.



#### Запомни!

*Горение топлива происходит в присутствии кислорода и представляет собой химическую реакцию образования молекул двуокиси углерода  $\text{CO}_2$  с выделением тепла.*

Иногда сгорание веществ возможно без участия кислорода. Например, в двигателях космических кораблей помимо смеси спирта и кислорода широко используют более эффективные виды топлива: смесь керосина и азотной кислоты, смесь анилина и азотной кислоты и другие.

На практике важно знать, какое количество теплоты выделяется при полном сгорании одного и того же количества различных веществ (топлива).

Известно, например, что нефть является лучшим топливом, чем древесина. Это значит, что если полностью сгорает одинаковое количество нефти и дров, в первом случае тепла производится больше.

Для того чтобы можно было сравнивать количество теплоты, полученное при сгорании одинаковых масс различного топлива, используется физическая величина, называемая *удельной теплотой сгорания топлива* (калорийностью топлива)

**Определение:** *Удельной теплотой сгорания топлива называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, выделенному при полном сгорании 1 кг данного топлива.*

Удельная теплота сгорания обозначается буквой  $q$ . Она изменяется в зависимости от вида топлива.

Если при сгорании  $m$  килограммов данного топлива было получено количество теплоты  $Q$ , его удельная теплота сгорания равна:  $q = \frac{Q}{m}$  (1).

Единицу измерения удельной теплоты сгорания в СИ находят из формулы (1)  $[q]_{\text{СИ}} = \frac{[Q]_{\text{СИ}}}{[m]_{\text{СИ}}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ .

В представленной ниже таблице приведены значения удельной теплоты сгорания некоторых видов топлива.

Топливо	Сухое дерево	Торф	Алкоголь	Каменный уголь	Древесный уголь	Природный газ	Нефть	Бензин	Керосин
Удельная теплота, $q$ ( $10^7$ Дж/кг)	1,0	1,4	2,7	2,7	3,4	4,4	4,4	4,6	4,6

Для экономного использования топлива и тепла следует знать возможные способы передачи теплоты.

**Анализируй ситуацию!**

- Рассмотрите внимательно рис. 1 а, б, в, на которых представлены три источника теплоты.
- Опишите способы передачи теплоты от этих источников.



Рис. 1 а)



б)



в)

## Экспериментируй

Способы передачи теплоты, проанализированные вами, можно исследовать опытным путем.

### Эксперимент № 1

- Закрепите на штативе один конец металлического стержня, на котором с помощью воска или пластилина прикреплены три спички на расстоянии 1,5 см одна от другой (рис. 2).
- Нагрейте свободный конец стержня на пламени спиртовки. С помощью секундомера установите время нагрева.
- Проанализируйте увиденное и сформулируйте выводы.

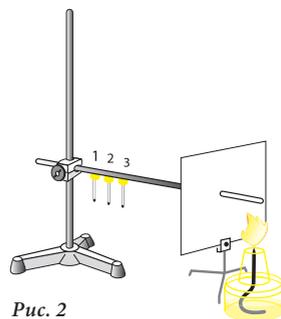


Рис. 2

### Определения:

Процесс переноса энергии от нагретых участков тела к холодным участкам посредством движения и взаимодействия элементарных частиц называют **теплопроводностью**.  
Вещества, хорошо проводящие тепло, называют **теплопроводниками**.  
Вещества, плохо проводящие тепло, называют **теплоизоляторами**.

Как правило, у жидкостей и газов теплопроводность ниже, чем у твердых тел.

### Каким образом в них происходит теплопередача?

#### Эксперимент № 2

- Подержите руку над пламенем спиртовки или свечи (рис. 3).
- Что наблюдаете?
- Как происходит теплопередача по воздуху?
- Сформулируйте вывод.

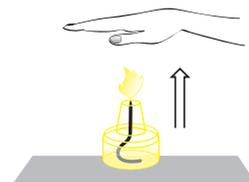


Рис. 3

#### Эксперимент № 3

- Положите на дно сосуда с водой кристалл перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ). Нагрейте сосуд над пламенем спиртовки (рис. 4).
- Что вы замечаете через несколько минут после начала нагревания?
- Как происходит теплопередача в этом случае?
- Сравните способы передачи тепла в жидкости и в воздухе.
- Сформулируйте выводы.

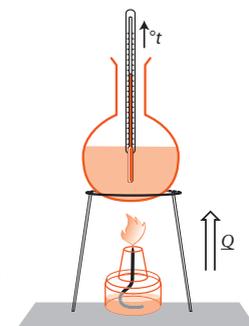


Рис. 4

### Определение:

Теплопередача, которая осуществляется потоками, формирующимися в неравномерно нагретых жидкостях или газах, называется **конвекцией**.

Слово **конвекция** происходит от латинского *convectio* – **перенесение, доставка**.

**Запомни!**

При конвекции перенос вещества происходит благодаря уменьшению плотности жидкости или газа при увеличении их температуры.

С помощью экспериментов вы изучили два способа передачи тепла: теплопроводность и конвекцию. Оба способа возможны только при наличии вещества, так как посредством его происходит перенос тепла.

Возникает вопрос: может ли тепло переходить от одного тела к другому, если между ними отсутствует какое-либо вещество?

Известно, что в межпланетном пространстве Солнечной системы и во Вселенной почти не существует вещества. Это пространство очень разрежено и является **вакуумом**.

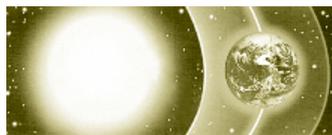


Рис. 5

В подобных условиях тепло переносится с помощью **излучения** – еще одного способа теплопередачи.

**Запомни!**

В вакууме тепло передается с помощью **излучения**.

Такой способ теплопередачи характерен для любой газообразной среды.

**Новые физические понятия**

- **удельная теплота сгорания;**
- **топливо;**
- **теплопроводность;**
- **теплопроводник;**
- **теплоизолятор;**
- **конвекция;**
- **излучение.**

**Проверь свои знания**

1. Что мы называем топливом?
2. Дайте определение **удельной теплоты сгорания топлива**.
3. Что такое **удельная теплота плавления**?
4. Напишите математическое выражение **удельной теплоты сгорания** и определите единицу ее измерения в СИ.
5. Каковы три способа передачи тепла? Определите их.
6. Что мы называем **теплопроводниками** и **теплоизоляторами**?
7. Приведите 3-4 примера из обычной жизни, когда тепло передается излучением.
8. Назовите 4-5 видов топлива, которые используются для нагрева помещений, и расположите их в порядке роста **удельной теплоты сгорания**.
9. Установите отношение между **удельной теплотой сгорания** и **удельной теплоемкостью топлива**, если количество теплоты, полученное при сгорании 1 кг этого топлива, равно количеству теплоты, необходимому для увеличения температуры 1 кг того же топлива на 1 °С.
10. Какое количество теплоты получается при полном сгорании 50 кг природного газа? На сколько зимних дней хватит этого количества газа, если необходимое для нагрева одной комнаты количество теплоты составляет  $Q = 2,5 \cdot 10^8$  Дж в день?

# 1.5. Взаимные превращения механической работы и теплоты. Тепловой двигатель

Информация >

В тепловых процессах в природе и в обыденной жизни постоянно происходят изменения начальных температур и, соответственно, изменения внутренней энергии тел (или их систем), как следствие передачи некоторого количества теплоты  $Q$ . Для экономии тепловой энергии необходима изоляция источников тепла и тел, которые находятся в процессе теплопередачи. Примером такой изоляции может служить *термос* (рис. 1)

Узнай больше! >

Термос, благодаря особенностям своей конструкции, а именно – двойной вакуумной стенке, обеспечивает тепловую изоляцию содержащихся в нем тел. Такая стенка является практически совершенным изолятором, поскольку представляет собой *адиабатную оболочку*. На древнегреческом *adiabatos* означает *непроходимый*.

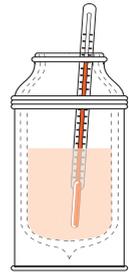


Рис. 1

В условиях лаборатории хорошую тепловую изоляцию можно получить с помощью калориметра (рис. 2).

Калориметр устроен таким образом, что делает возможным теплообмен между телами, помещенными в него, и не допускает передачи тепла вовне, изолируя систему тел от окружающей среды.

Рассмотрите рис. 3 и 4.

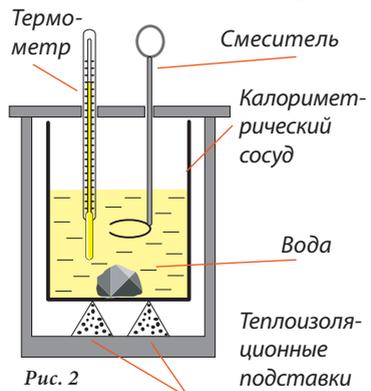


Рис. 2

Анализируй ситуацию! >

На них представлены два одинаковых калориметра. Вода в калориметрах, имея одну и ту же температуру, допустим,  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , представляет собой адиабатически теплоизолированное тело.

В калориметре на рис. 3 находится тело, нагретое до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в калориметр на рис. 4 помещены лопасти вращающегося устройства, совершающие механическую работу.

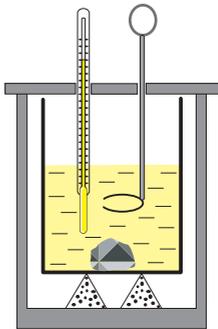


Рис. 3

- Что происходит с внутренней энергией воды в каждом из этих калориметров? Останется она постоянной или изменится?

- Какое различие между этими двумя способами изменения внутренней энергии?

- Сформулируйте выводы.

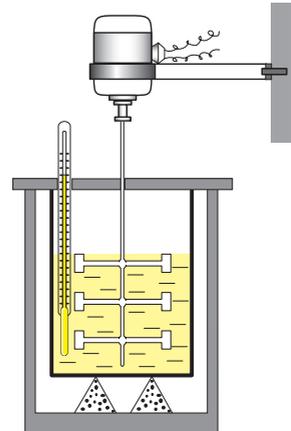


Рис. 4

**Запомни!**

Внутреннюю энергию тела можно изменить двумя способами:

- **теплопередачей (теплообменом);**
- **совершением над этим телом механической работы.**

В VII классе вы изучали такие физические понятия, как работа, мощность, механическая энергия. Значит, вам уже известно, что работа, выполненная некоторой постоянной силой, перемещающей тело в направлении своего действия, определяется выражением:  $A = F \cdot d$ . Вам также известно, что физическое тело, переходя из состояния покоя в состояние движения, или это же тело, поднятое на некоторую высоту над Землей, приобретает *способность* выполнить механическую работу. Это свойство выражается физической величиной, называемой *механическая энергия*. Энергия, которую приобретает тело, находящееся в движении, называется *кинетической энергией*:  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  (или *энергией движения*), а энергия, которой обладает тело благодаря своему положению относительно поверхности Земли (или относительно другого тела) называется *потенциальной гравитационной энергией*:  $E_n = mgh$  (*энергией положения*).

Механическая работа, как и механическая энергия, в СИ измеряется в джоулях (Дж).

Как можно рассчитать механическую работу, совершенную над водой в калориметре (рис. 4)?

Лопастей, зафиксированные на оси двигателя, вращаясь, взаимодействуют с водой. При этом, благодаря силе трения, вода нагревается. Известно, что механическая работа, совершенная электродвигателем, определяется по формуле:  $A = N \cdot t$ , где  $N$  – мощность двигателя, которая обычно указана на его корпусе, а  $t$  – время, в течение которого изменяется внутренняя энергия воды в сосуде. Таким образом, механическая работа  $A$ , совершенная лопастями над водой, адиабатно изолированной в калориметре (рис. 4), равна изменению внутренней энергии воды  $U_2 - U_1$ , то есть  $A = U_2 - U_1$ . Изменение внутренней энергии воды (состояние ее нагрева) определяется по увеличению ее температуры и измеряется термометром. Следовательно:  $U_2 - U_1 = Q$ , где  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$ .

**Вывод:** Механическая энергия электродвигателя преобразуется лопастями во внутреннюю энергию воды.

В некоторых случаях происходит обратный процесс, т. е. внутренняя энергия тела (теплоты  $Q$ ) превращается в механическую энергию (выполненную работу  $A$ ).

**Экспериментировать**

- Закрепите на штативе тонкостенную латунную трубку (рис. 5).
- Налейте в нее немного эфира и плотно закройте резиновой пробкой.
- Обмотайте трубку тонким шнуром, как показано на рисунке, и резко тяните шнур то в одну, то в другую сторону, вращая ее таким образом.

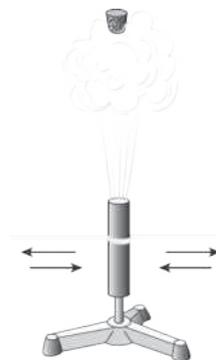


Рис. 5

- Что произойдет через некоторое время?
- Объясните этот эксперимент.

Человечество в последние столетия занимала проблема использования теплоты, произведенной в результате горения топлива, для совершения механической работы.

В каких условиях может быть совершена механическая работа за счет внутренней энергии тела?

Известно, что некоторая сила выполняет механическую работу, если тело под ее действием перемещается.

Предположим, что в цилиндре с поршнем находится газ. В этом случае, если давление газа больше атмосферного давления, хаотическое движение молекул газа в цилиндре приводит к перемещению поршня. Расширяясь, газ увеличивает свой объем. Следовательно, сила, с которой газ действует на поршень, совершает положительную работу, так как направление действия силы и направление перемещения совпадают.

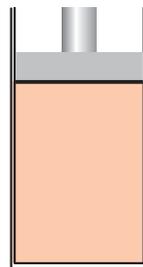


Рис. 6

**Запомни!** При расширении газ совершает механическую работу за счет своей внутренней энергии.

Человек всегда стремился сконструировать устройства, которые превращали бы теплоту в механическую работу.

**Определение:** Устройство, в котором теплота, выделенная при сгорании топлива, превращается в механическую работу, называют **тепловым двигателем**.

Теплота, используемая тепловым двигателем для осуществления механической работы, может быть получена различными способами:

- преобразованием воды в пар с дальнейшим использованием внутренней энергии пара;
- прямым сгоранием топлива с дальнейшим использованием внутренней энергии газов, образовавшихся при сгорании.

**Историческая справка**

Первые тепловые машины, построенные в начале XVIII века, использовали силу давления пара, который получали при нагревании воды, сжигая уголь или дрова. Поэтому они были названы паровыми тепловыми машинами. Эти машины были очень объемными, тяжелыми и малоэффективными.



Усовершенствование тепловых двигателей происходило постепенно. Современные тепловые машины используют непосредственно сгорание топлива: бензина или солярки. Удельная теплота сгорания у этих видов топлива больше, чем у угля. Работа таких двигателей основана на силах давления, которое оказывают газы, полученные в результате сгорания. Эффективность тепловых двигателей в несколько раз больше паровых.

Работа теплового двигателя с искровым зажиганием горючей смеси происходит в четыре «такта» и в два «такта» (рис. 7).

Давайте  
обсудим

Проанализируйте вместе с соседом по парте четыре «такта» работы двигателя с искровым зажиганием горючей смеси (рис. 7).

**I. Впуск:** при движении поршня вниз через впускной клапан *A* в цилиндр попадает горючая смесь бензина и воздуха. Клапан *B* при этом закрыт.

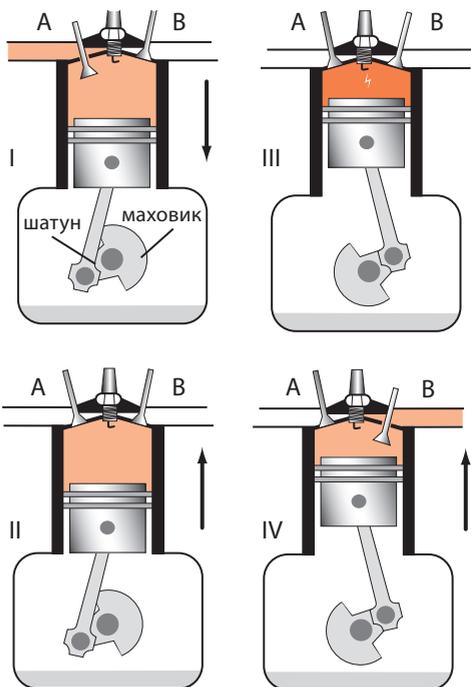


Рис. 7

**II. Сжатие:** двигаясь вверх, поршень сжимает горючую смесь, находящуюся в цилиндре. Клапаны *A* и *B* закрыты.

**III. Зажигание и расширение:** искра, произведенная свечой, зажигает горючую смесь; газы, образованные при сгорании, оказывают на поршень давление и толкают его вниз. Под действием расширяющихся газов двигатель совершает механическую работу.

**IV. Выхлоп:** поднимаясь вверх, поршень выталкивает продукты сгорания через выпускной клапан *B*, а затем они выходят через выхлопную трубу. С помощью шатуна и маховика повторяющиеся поступательные движения поршня преобразуются во вращательное движение вала двигателя.

Этот четырехтактный цикл непрерывно повторяется в процессе работы двигателя. Чтобы вал, на который действуют шатун и маховик, вращался равномерно, соединяют несколько цилиндров (4, 6, 8 или 12). Таким

образом, в каждом интервале времени, равном 4-й (6, 8, 12) части полного оборота, хотя бы один цилиндр находится в рабочем ходе – III такте.

Описанный выше двигатель представляет собой двигатель с искровым зажиганием. Так как топливо сгорает внутри него, его называют **двигателем внутреннего сгорания**.

Другой тип двигателя внутреннего сгорания – дизель. Он работает на дизельном топливе (солярке).

Тепловые двигатели, такие как двигатель с искровым зажиганием и дизель, отличаются не только своей конструкцией, но и эффективностью, характеризующейся **коэффициентом полезного действия**.

**Что представляет собой коэффициент полезного действия теплового двигателя?**

Мы знаем, что при сгорании топлива в различных условиях, например, в печи или в газовой плите, часть произведенной теплоты передается окружающему воздуху. То есть из количества теплоты  $Q_{\text{общ.}}$ , полученного при полном сгорании топлива, только часть передается нагреваемому телу (например, помещению, отапливаемому батареей, или воде в сосуде).

Если обозначим эту часть количества теплоты – **полезную теплоту** –  $Q_{\text{пол.}}$ , то отношение  $Q_{\text{пол.}}$  к количеству теплоты  $Q_{\text{общ.}}$ , произведенному определенным устройством при полном сгорании топлива, представляет собой **тепловой коэффициент полезного действия** этого устройства.

Обозначив коэффициент полезного действия буквой  $\eta$  (эта), получим:

$$\eta = \frac{Q_{\text{пол.}}}{Q_{\text{общ.}}}, \text{ или } \eta = \frac{Q_{\text{пол.}}}{m \cdot q} \quad (1).$$

Поскольку  $Q_{\text{пол.}}$  составляет только часть от  $Q_{\text{общ.}}$ , значит  $Q_{\text{пол.}} < Q_{\text{общ.}}$ . И, следовательно,  $Q_{\text{пол.}}/Q_{\text{общ.}}$  всегда меньше единицы, т.е.  $\eta < 1$ .

Если в тепловой машине в результате полного сгорания получается количество теплоты  $Q_{\text{общ.}}$ , а  $A$  – это работа, выполненная машиной, то  $\eta = A/Q_{\text{общ.}}$  представляет собой коэффициент полезного действия этой машины.

**Новые  
физические  
понятия**

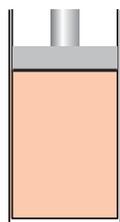
- **калориметр;**
- **тепловой двигатель;**
- **преобразование внутренней энергии;**
- **КПД теплового двигателя.**

**Проверь  
свои знания**

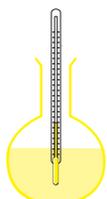
1. Назовите два способа изменения внутренней энергии.
2. Что такое *тепловой двигатель*?
3. Напишите математическое выражение КПД теплового двигателя и объясните, от каких физических величин он зависит.
4. Почему и термос, и калориметр изготавливают в форме цилиндра?
5. Объясните, почему пила нагревается во время работы. Какие превращения происходят при этом?
6. Во время затачивания нож нагревается. Это же происходит, если нож подержать над огнем. Чем отличаются эти два тепловых процесса изменения внутренней энергии?
7. Объясните, почему при резком торможении сильно нагреваются шины автомобиля?
8. Мы дуем на руки и когда они замерзли, и когда они вспотели. Объясните, какие тепловые процессы происходят при этом.
9. После сильной грозы вода в море становится теплее. Объясните причины этого явления.
10. Для обогрева комнаты необходимо количество теплоты, равное  $25 \cdot 10^7$  Дж. Какое количество природного газа используется ежедневно, если КПД отопительного устройства равен 35 %?
11. Для обогрева комнаты в зимнее время необходимо количество теплоты, равное 300 МДж. Какая масса сухих дров необходима для этого? Сравните ее с массой нефти, которой можно заменить дрова, считая потери незначительными.
12. Какое количество теплоты и какая масса двуокиси углерода получаются при горении 5 т торфа, если при этом в двуокиси углерода превращается 0,5 % продукта, полученного при горении?
13. Трактор во время вспашки расходует 5 кг солянки на 13 км пашни. Какова сила тяги, с которой действует мотор, если его КПД составляет 35 %? Удельная теплота сгорания солянки  $q = 4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг.

## Обобщение

Газ в цилиндре с поршнем, жидкость в стеклянном сосуде, младенец (рис. 1 а, б, в) являются физическими телами. Каждое из них может находиться в одном из двух механических состояний: состоянии покоя или в состоянии движения. Одновременно эти тела находятся в определенном *тепловом состоянии*, которое выражает их *внутреннее состояние*.



а)



б)



в)

Рис. 1

Внутреннее состояние физического тела определяется его температурой. **Температура** – это физическая величина, которая характеризует тепловое состояние тела или системы тел, находящихся в тепловом равновесии. **Тепловое равновесие** – это внутреннее состояние тела, при котором его температура не меняется. Переход тела (или системы тел) из одного состояния теплового равновесия в другое называется **тепловым процессом**.

Если температура тела (системы тел) растет, тепловой процесс называется **нагреванием**, и наоборот, если снижается, тепловой процесс называется **охлаждением**.

Внутреннее состояние тела характеризуется **внутренней энергией**, которая состоит из суммы кинетической энергии молекул, их потенциальной энергии и внутренней энергии самих молекул\*. Внутренняя энергия тела (системы тел) не зависит от его механического состояния: покоя или движения. **Внутренняя энергия** обозначается буквой  $U$ .

Когда внутренняя энергия тела изменяется без совершения механической работы, этот процесс называется **теплообменом** или **теплопередачей**.

Физическая величина, которая характеризует изменение внутренней энергии тела (системы тел) в процессе передачи тепла называется количеством теплоты.

**Количество теплоты** обозначается буквой  $Q$ . Таким образом, когда внутренняя энергия тела растет благодаря количеству теплоты  $Q$ , полученной от другого тела, изменение внутренней энергии равно  $\Delta U = U_2 - U_1 = Q$ , где  $U_1$  – начальная внутренняя энергия, а  $U_2$  – конечная внутренняя энергия тела. Единицей измерения теплоты в СИ является **джоуль** (Дж).

Количество теплоты, полученной или отданной телом, которое приводит к изменению температуры, и, соответственно, к изменению внутренней энергии тела, выражается уравнением:  $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$ , где  $m$  – масса тела,  $c$  – удельная теплота вещества, из которого состоит тело, а  $\Delta t$  – изменение температуры тела.

**Удельная теплота вещества** – это физическая величина, равная количеству теплоты, полученной или отданной телом для изменения температуры единицы массы на один градус.

Все физические тела обладают определенной **теплоемкостью**.

**Теплоемкость** обозначается буквой  $C$ . Она зависит от массы тела и удельной теплоты вещества тела. Теплоемкость определяется выражением:

\* **Примечание:** Другие составляющие внутренней энергии вы будете изучать в старших классах.

$$C = \frac{Q}{\Delta t} = c \cdot m. \text{ Единицей измерения теплоемкости является } 1 \text{ Дж}/^\circ\text{С}.$$

Вещества, из которых состоят тела, могут находиться в одном из трех **агрегатных состояний**: *твердом, жидком и газообразном*.

Переход вещества из одного агрегатного состояния в другое представляет собой тепловой процесс.

- Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое называется **плавлением**.
- Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое называется **отвердеванием** или **кристаллизацией**.

*Плавление и отвердевание* являются обратными тепловыми процессами.

Количество теплоты, необходимое массе твердого тела для плавления при температуре плавления, называется **удельной теплотой плавления**.

Она обозначается  $\lambda_{пл.}$  и выражается формулой:  $\lambda_{пл.} = Q/m$ . Единицей измерения в СИ является 1 Дж/кг.

При плавлении определенной массы вещества *поглощается* некоторое количество теплоты  $Q = \lambda_{пл.} \cdot m$ . Это же количество теплоты *выделяется* при отвердевании (кристаллизации) той же массы вещества.

- Процесс перехода вещества из жидкого состояния в газообразное называется **парообразованием**.
- *Парообразование*, происходящее только со свободной поверхности жидкости, называется **испарением**.
- *Парообразование*, происходящее из всего объема жидкости, называется **кипением**.
- Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое называется **конденсацией**.

*Парообразование и конденсация* являются обратными тепловыми процессами.

Количество теплоты, необходимое для превращения в пар определенной единицы массы жидкости при температуре кипения, называется **удельной температурой парообразования**. Она обозначается буквой  $\lambda_{пар.}$  и определяется выражением:  $\lambda_{пар.} = Q/m$ . Единицей измерения в СИ является 1 Дж/кг.

В природных тепловых процессах теплота может быть передана тремя способами: *теплопроводностью, конвекцией и излучением*.

**Теплопроводностью** называется процесс переноса тепла от нагретых участков тела к холодным участкам посредством движения и взаимодействия элементарных частиц вещества, из которого состоит тело.

*Вещества*, которые хорошо проводят тепло, называются **теплопроводниками**.

*Вещества*, плохо проводящие тепло, называются **теплоизоляторами**.

Как правило, теплопроводность твердых тел, особенно металлических, больше, чем остальных.

Теплопроводность жидкостей и газов очень мала. Передача тепла в них происходит с помощью *конвекции*.

**Конвекция** – это передача тепла с помощью потоков, формирующихся в неравномерно нагретых жидкостях или газах.

При *конвекции* благодаря уменьшению плотности жидкости или газа происходит перемещение вещества одновременно с увеличением их температуры, формируя таким образом *конвекционные потоки*.

**Тепловое излучение** - это передача тепла, которая может осуществляться даже в вакууме. Тепло от огня в камине и от электронагревателя передается окружающей среде именно посредством теплового излучения.

Для получения тепла, используемого в промышленности и домашнем хозяйстве, для движения машин и получения электрической энергии и т.п., используются вещества, называемые *топливом*.

**Топливо** – это вещество или смесь веществ, которые при горении выделяют значительное количество тепла. Самой важной характеристикой топлива является *удельная температура сгорания*.

**Удельной теплотой сгорания** топлива называется физическая величина, численно равная количеству теплоты, выделенному при полном сгорании 1 кг этого топлива.

*Удельная теплота сгорания* обозначается буквой  $q$  и определяется выражением:  $q = Q/m$ . Единицей измерения в СИ является 1 Дж/кг.

Внутренняя энергия тела также может изменяться не только *при теплопередаче*, но и *при совершении механической работы*. Превращение тепла в механическую работу является основой функционирования *теплового двигателя*.

**Тепловым двигателем** называется устройство, в котором теплота, выделенная при сгорании топлива, превращается в механическую работу.

Тепловые двигатели отличаются своей конструкцией и эффективностью, или *коэффициентом полезного действия* (КПД).

**Коэффициентом полезного действия** теплового двигателя называется соотношение между работой, совершенной газом, и количеством теплоты, полученной при сгорании топлива.

Коэффициент полезного действия обозначается буквой  $\eta$  (*эта*) и определяется выражением:  $\eta = Q_{\text{пол.}}/Q_{\text{общ.}} = Q_{\text{пол.}}/m \cdot q$ , где  $Q_{\text{пол.}}$  – полезная теплота (теплота, переданная телу), а  $Q_{\text{общ.}}$  – общее количество теплоты, полученной при горении топлива.

Тепловые двигатели превращают в механическую работу только часть количества теплоты (около 20-40 %), произведенной при сгорании топлива. Другая часть произведенного тепла распространяется в окружающей среде и накапливается в земной атмосфере. При сгорании топлива в большом количестве образуется диоксид углерода  $\text{CO}_2$  и другие вредные вещества, быстрое накопление которых в атмосфере ведет к увеличению температуры в планетарном масштабе, так называемому «*парниковому эффекту*».

**Парниковый эффект** – это природное явление, которое состоит в уменьшении теплоотдачи со стороны земной атмосферы. Этот эффект проявляется в задержке солнечной энергии на поверхности Земли. Солнечные лучи падают на Землю, часть их поглощается земной поверхностью, а часть отражается в атмосферу (рис. 2). Но увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере нарушает тепловое равновесие Земли и как следствие вызывает *глобальное потепление атмосферы*, что, в свою очередь, ведет к *глобальному изменению климата*.

#### **Последствия парникового эффекта:**

- значительная разница дневных и ночных температур;
- изменения в смене времен года;
- увеличение засушливых периодов;
- усиление сезонных дождей, ведущее к наводнениям;
- таяние ледников;
- повышение уровня Мирового океана.



Рис. 2

# ПРОВЕРЬ СЕБЯ

Определите уровень знаний, усвоенных вами при изучении данной главы, подсчитав количество баллов.

## I. В заданиях 1-3 дайте краткий ответ.

1. Продолжите утверждения так, чтобы они были правильными: ... по 1 б.

- а) Температура – это физическая величина, которая характеризует состояние .....
- б) Тепловым процессом называется переход .....
- в) Внутренней энергией тела называется .....
- г) Количеством теплоты называется физическая величина, которая ..
- д) Удельной теплотой называется физическая величина, равная ....
- е) Теплоемкость – это теплота, необходимая .....
- ж) Плавлением называется процесс .....
- з) Отвердеванием называется процесс .....
- и) Удельной теплотой плавления называется .....
- к) Парообразованием называется процесс перехода .....
- л) Удельной теплотой плавления называется .....
- м) Конденсацией называется процесс перехода .....
- н) Удельная теплота сгорания – это .....
- о) Теплопроводностью называется передача .....
- п) Конвекцией называется передача .....

2. Определите физические величины, представленные следующими математическим выражениями:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t; \quad c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}; \quad C = c \cdot m;$$
$$\lambda_{\text{пл.}} = \frac{Q}{m}; \quad \lambda_{\text{пар.}} = \frac{Q}{m}; \quad \eta = \frac{Q_{\text{пол.}}}{Q_{\text{общ.}}} \dots \dots \dots 6 \text{ б.}$$

3. Назовите физические величины, соответствующие следующим единицам измерения: ... по 1 б.

Дж;      Дж/кг;      Дж/кг · °С      Дж/°С

## II. В заданиях 4-5 дайте ответ в свободной форме.

4. Проанализируйте и объясните представленные ниже ситуации, используя изученные понятия: ... по 2 б.

- а) Почему количество теплоты, полученное телами, может быть оценено только величиной изменения температуры?
- б) Удельная теплоемкость свинца равна 140 Дж/кг · °С, железа – 460 Дж/кг · °С, а алюминия – 920 Дж/кг · °С. Что это означает?
- в) Теплопроводность льда в 21,5 раз больше, чем свежеснежного льда. Чем объясняется это отличие?
- г) Во время взлета космического корабля по мере увеличения высоты его оболочка нагревается. Каковы причины нагревания оболочки и какие из них преобладают при подъеме?
- д) Какое действие оказывает пламя газовой горелки на лед, находящийся в стеклянном сосуде?

5. Напишите сообщение в 15 предложений о глобальном потеплении и парниковом эффекте ... 15 б.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Проблемные ситуации

#### А. Выполни упражнения

1. В вашем распоряжении два одинаковых термометра. Один находится в комнате и указывает температуру  $+18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , другой находится на улице и указывает  $-18,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поменяем их местами. Как изменятся при этом показания термометров?
2. Допустим, в тепловом взаимодействии находятся четыре тела с температурами  $^{\circ}t_1 < ^{\circ}t_2 < ^{\circ}t_3 < ^{\circ}t_4$ . Что можно сказать о величине температуры равновесия, установленной в этой системе, по сравнению с температурами данных тел?
3. Какой физической величиной является температура: векторной или скалярной?
4. Рассмотрите внимательно изображение.
  - Объясните тепловой процесс нагревания термометра во время измерения температуры у ребенка.
  - Как изменяется тепловое состояние человеческого тела во время заболевания? Сформулируйте выводы.
5. Переведите в СИ:
  - а)  $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      б)  $273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;      в)  $-268\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
6. Пусть одно тело нагревается, а другое – остывает. Найдите взаимосвязь между понятиями: *изменение температуры*, *изменение внутренней энергии* и *количество теплоты*.  
Объясните эту взаимосвязь для обоих процессов на основе примеров из обыденной жизни.
7. Допустим, одно тело нагревается. Какова взаимосвязь между изменением его температуры, внутренней энергией и количеством теплоты во время этого теплового процесса? Приведите пример из обычной жизни.
8. В холод многие животные спят, свернувшись калачиком. Почему?
9. Сосуд с холодной водой опущен в сосуд с горячей. Количество воды в сосудах одинаково. Как и до какого состояния будет происходить изменение внутренней энергии воды в обоих сосудах? Объясните ответ.
10. Закрытая пробкой стеклянная реторта опускается в сосуд с горячей водой (рис. 1). Как изменятся кинетическая и потенциальная энергии молекул воздуха в реторте? А его внутренняя энергия? Объясните ответ.

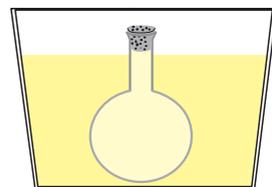
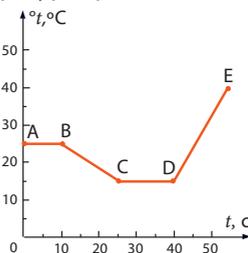


Рис. 1

11. На рис. 2 представлен график изменения температуры физической системы в зависимости от времени. Опишите в тетради тепловые процессы, которые происходят на каждом отрезке графика.



12. Какое количество теплоты необходимо передать 80 г глицерина, чтобы его температура увеличилась с 18 °С до 43 °С? Что произойдет с его внутренней энергией?
13. В сосуде смешиваются три равные части воды, имеющие различные температуры: 15 °С, 25 °С и 35 °С. Какой будет температура смеси?
14. В железный сосуд массой 5 кг налита вода массой 10 кг. Какое количество теплоты должен получить сосуд с водой для изменения его температуры с 20 °С до 80 °С?
15. Алюминиевый сосуд массой 250 г наполнен 3,5 л воды. Какое количество теплоты должно быть передано ему от пламени газовой плиты для увеличения температуры воды с 20 °С до 60 °С?
16. Холодная вода имеет температуру 10 °С, а горячая – 70 °С. Какое количество горячей и холодной воды надо смешать, чтобы получить 200 л воды температурой 30 °С?
17. Для измерения температуры воды в нее помещен термометр. В каком случае термометр от воды получит определенное количество теплоты, а в каком случае – отдаст?
18. Два равные по массе тела – медное и железное – получили равные количества теплоты  $Q$ . Какое из них нагреется больше и почему?
19. В каком случае внутренняя энергия тела больше: при  $-10$  °С или при  $5$  °С? Объясните ответ при помощи вычислений.
20. Приведите 4-5 примеров изменения внутренней энергии тел, обозначив способы передачи тепла.

- Сравните, как изменяется их внутренняя энергия.
- Сколько времени длится изменение внутренней энергии в каждом случае?
- Сформулируйте выводы.

21. Сосуд со льдом температурой  $-8$  °С нагревают на водяной бане. Какой из данных графиков (рис. 3) представляет процесс нагревания и таяния льда?

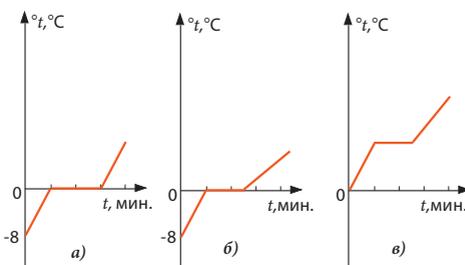
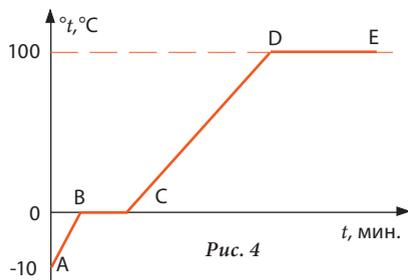


Рис. 3

22. Какое количество теплоты необходимо для нагревания куска льда массой 3 кг от  $-8$  °С до  $+10$  °С?

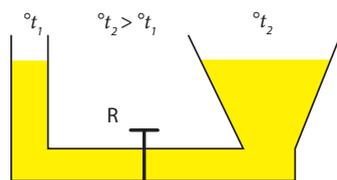
23. Определите количество теплоты, необходимое для тепловых процессов, соответствующих отрезкам  $AB$ ,  $BC$  и  $CD$  графика (рис. 4), если масса льда равна 0,5 кг.



24. Какое количество теплоты необходимо, чтобы превратить в пар 15 г воды, 12 г спирта и 10 г эфира, если каждая из этих жидкостей находится при температуре кипения?

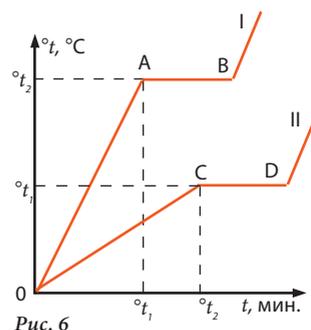
25. Какое количество теплоты необходимо для превращения в пар 20 г воды, если ее начальная температура 10 °С?

26. Уровень воды в сообщающихся сосудах одинаков, а температура разная (рис. 5). Каким образом изменится уровень воды в этих сосудах, если:



- кран  $R$  будет закрыт;
- кран  $R$  будет открыт?

27. В двух одинаковых сосудах находятся равные количества двух различных веществ. Сосуды нагреваются на одинаковых спиртовках. Руководствуясь графиками (рис. 6), сравните температуры плавления, удельную теплоту и удельную теплоту парообразования этих веществ.



28. Используя схему (рис. 7), опишите тепловые процессы, которые происходят при переходе воды из одного агрегатного состояния в другое.



Рис. 7

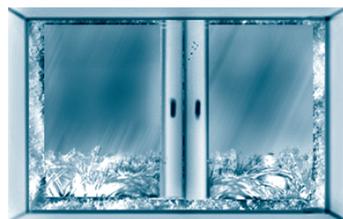
29. Объясните, почему железный прут невозможно держать в руке, если его свободный конец нагревается над пламенем, а древесный прут можно держать без всяких последствий, даже если другой его конец горит.

30. Почему в зимнее время на морозе влажные пальцы легко прилипают к металлическим предметам, но не прилипают к деревянным?

31. В каких домах зимой теплее, а летом прохладнее: в домах с глиняными стенами или с бетонными? Объясните ответ.

32. Бумажную коробку с налитой в нее водой держат над пламенем спиртовки. Почему не загорается бумага? Проведите опыт и объясните ответ.

33. Почему жидкости и газы нагревают снизу? Это правило обязательно и для твердых тел? Объясните ответ.
34. Почему в неотапливаемых помещениях замерзают в первую очередь ноги?
35. Какое из следующих утверждений верно:  
 а) одеяло нас согревает;  
 б) одеяло нагревается от нас?
36. При какой температуре металл и дерево дают нам при прикосновении ощущение равного теплового состояния?
37. Какая почва нагревается на солнце быстрее: влажная или сухая?
38. Почему человек не чувствует холода при температуре воздуха  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в то время как в воде с температурой  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  ему прохладно?
39. Почему оконное стекло, как правило, начинает покрываться льдом снизу?
40. Почему проволоку можно нагревать над пламенем только до определенной температуры? Проведите опыт и объясните ответ.
41. Обычно самая высокая температура воздуха приходится не на полдень, а на время после обеда. Почему?
42. Планета Земля непрерывно излучает энергию в космическое пространство. Почему она не замерзает?
43. На какое время для обогрева одной комнаты хватит  $700\text{ кг}$  сухих дров, если ежедневно на это тратится количество теплоты, равное  $250\text{ МДж}$ ?
44. Какое количество теплоты получается при полном сгорании топлива, состоящего из смеси  $3,5\text{ л}$  спирта и  $2,0\text{ л}$  бензина?
45. Рассчитайте количество воды, которое можно нагреть от  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до температуры кипения количеством тепла, полученным при полном сгорании топлива из задачи № 44.
46. Какое количество спирта должно сгореть, чтобы нагреть  $3,5\text{ л}$  воды от  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , если из всего количества теплоты, полученного при его сгорании, для нагревания используется только  $40\%$ ?
47. При сгорании  $200\text{ г}$  топлива выделилось  $3,2\text{ МДж}$  теплоты. Какое топливо горело?
48. Эскимосы строят свои жилища (иглу) из льда. Как объяснить, что внутри этих жилищ температура намного выше, чем на открытом воздухе?



49. Если проволоку быстро сгибать и разгибать на одном участке ее длины, этот участок сильно нагревается. Проведите опыт и объясните это явление.
50. Для обогрева одной комнаты необходимо количество теплоты, равное  $25 \cdot 10^7$  Дж. Какая масса природного газа должна быть израсходована ежедневно, если известно, что КПД обогревателя составляет 35 %?
51. Трактор во время вспашки потребляет 5 кг солярки на 3 км пашни. Какова сила тяги его мотора, если его КПД равен 35 %? Удельная теплота сгорания солярки равна  $q = 4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг.
52. Какую массу воды можно нагреть от 20 °С до температуры кипения на лампе, в которой сгорает 200 г керосина, а ее КПД равен 12 %?



53. На газовой плите нагревается 2,5 л воды от 25 °С до кипения. Какое количество природного газа сгорает при этом, если из количества произведенного тепла 75 % передается воздуху?
54. Каков коэффициент полезного действия теплового двигателя, который совершает механическую работу  $12,5 \cdot 10^7$  Дж, потребляя при этом 7,5 л бензина?

55. Тепловой двигатель имеет коэффициент полезного действия  $\eta = 28,5$  %. Какую механическую работу он совершит, если использует 6 кг дизельного топлива?
56. Сколько солярки использовал в течение часа дизельный двигатель с КПД 28 % и полезной мощностью 75 кВт?
57. В цилиндре под поршнем находится газ. В каком положении, первом или втором, понадобится большее количество теплоты для нагревания газа до определенной температуры (рис. 8)? Исходная температура в обоих случаях одинакова.
58. Определите коэффициент полезного действия дизельного двигателя мощностью 73 600 Вт, если в течение часа он расходует 20 кг солярки.

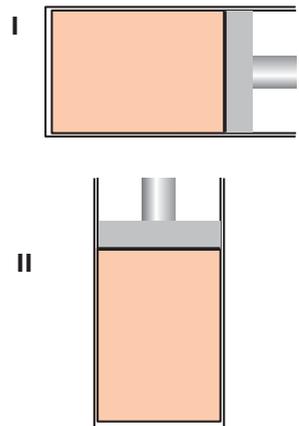


Рис. 8

59. Автомобиль с дизельным двигателем, на средней скорости 75,6 км/ч за 4 часа использовал 21 кг дизельного топлива. Какова сила тяги мотора этого автомобиля, если его КПД составляет 40 %?

## В. Экспериментируй

1. Проведите экспериментальное исследование тепловых процессов нагревания и охлаждения воды, имея в распоряжении следующие инструменты и материалы: стеклянная реторта с водой ( $m = 100-150$  г), спиртовка, лабораторный термометр, подставка для реторты.
  - а) Отметьте начальную температуру воды в реторте.
  - б) В течение 10 минут нагревайте реторту с водой над пламенем.
  - в) Потушите спиртовку и оставьте реторту с водой охлаждаться в течение 10 минут.
  - г) Отмечайте каждую минуту температуру воды во время ее нагревания и охлаждения.
  - д) Занесите полученные данные в таблицу.
  - е) В одной системе координат постройте графики зависимости температуры воды от времени ее нагревания и охлаждения.
  - ж) Опишите полученные графики, сравнив их.
  - з) Сформулируйте выводы.

2. Два одинаковых сосуда *A* и *B*, содержащих одинаковую массу льда и воды, поставили нагреваться на двух спиртовках (рис. 1): в сосуде *A* лед находится при  $t = 0$  °С, в сосуде *B* при  $t = 0$  °С находится вода.

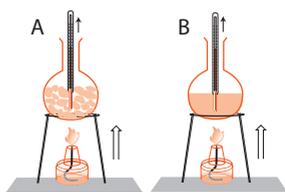


Рис. 1

- а) Постройте в одной системе координат графики зависимости температуры в каждом из сосудов от времени в период плавления льда.
  - б) Опишите, какие процессы происходят в этих сосудах в первые минуты нагревания.
- в) На что было потрачено количество теплоты, полученное сосудами от пламени спиртовок?
  - г) Как изменилась внутренняя энергия льда и воды в этот период времени?

3. Налейте одинаковое количество горячей (50-60 °С) воды в три разных сосуда (рис. 3) – металлический (а), стеклянный (б) и пластмассовый (в). Используя три одинаковых лабораторных термометра, проделайте следующий опыт.

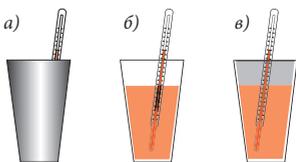


Рис. 2

- а) Проследите процесс установления теплового равновесия в каждом из сосудов, отмечая температуру через равные промежутки времени (к примеру, каждые 3 мин.).
  - б) Подготовьте таблицу и заполните ее полученными в опыте данными.
- в) В одной системе координат постройте графики зависимости температуры воды в каждом сосуде через равные промежутки времени.
  - г) Сравните полученные графики процессов охлаждения и сформулируйте выводы относительно установления теплового равновесия и изменения внутренней энергии воды в каждом из сосудов.
  - д) Опишите в тетради процессы установления теплового равновесия, рассмотренные в этом эксперименте.

4. Имея в распоряжении следующие материалы и инструменты: 500 см<sup>3</sup> горячей воды ( $t = 70-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), 500 см<sup>3</sup> холодной воды ( $t = 18-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), два одинаково градуированных сосуда, два одинаковых лабораторных термометра, стеклянный сосуд объемом 500 см<sup>3</sup>, проведите эксперимент для сравнения количества теплоты, отданного и полученного при смешивании воды разных температур.

- Исследуйте три случая, смешивая:
    - 100 см<sup>3</sup> холодной и 100 см<sup>3</sup> горячей воды;
    - 100 см<sup>3</sup> холодной и 200 см<sup>3</sup> горячей воды;
    - 200 см<sup>3</sup> холодной и 100 см<sup>3</sup> горячей воды.
  - Разработайте план выполнения эксперимента.
  - Рассчитайте для каждого случая количество теплоты, отданное горячей водой ( $Q_{\text{отд.}}$ ), и количество теплоты, полученное холодной водой ( $Q_{\text{получ.}}$ ), используя формулу (1).
  - Сравните количества теплоты  $Q_{\text{отд.}}$  и  $Q_{\text{получ.}}$  для каждого случая.
  - Сформулируйте выводы.
5. Имея в распоряжении лабораторные весы и две одинаковые спиртовки, проведите эксперимент для изучения способа теплопередачи по воздуху.

- Уравновесьте чаши весов.
- Поставьте под одну из чаш горящую спиртовку.
- Что вы наблюдаете?
- Поставьте под вторую чашу весов горящую спиртовку.
- Что наблюдаете теперь?
- Погасите спиртовки. Что наблюдаете теперь?
- Сформулируйте выводы.

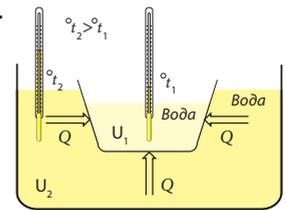


Рис. 3

6. Выполните опыты, представленные на рис. 3 и 4.
- Опишите в тетради процесс изменения внутренней энергии воды в каждом из сосудов, используя изученные физические понятия: тепловое состояние, тепловой контакт, тепловое равновесие, температура, тепло, теплопередача.
  - Сравните особенности изменения внутренней энергии в этих трех случаях.
  - Сформулируйте выводы.

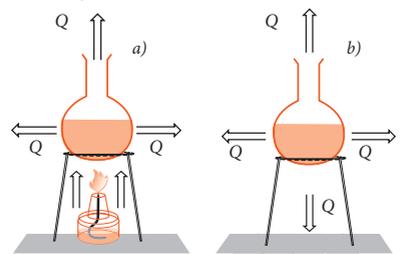


Рис. 4

## 7. Лабораторная работа.

### Определение удельной теплоты вещества

Для определения удельной теплоты вещества (твердого тела) используют калориметр. В калориметр массой  $m_1$  и с удельной теплотой  $c_1$  заливается вода массой  $m_2$  и с удельной теплотой  $c_2$ . В воду вводится горячее твердое тело массой  $m$  и удельной теплотой  $c$ , которую надо

определить. Температура калориметра и воды равна  $t_1^\circ$ , а температура твердого тела  $t_2^\circ$  ( $t_1^\circ < t_2^\circ$ ). В этой системе трех тел устанавливается тепловое равновесие с конечной температурой  $t^\circ$ , которое можно описать калориметрическим уравнением:  $|Q_{отд.}| = Q_{получ.}$ , где  $Q_{отд.}$  – количество теплоты, отданное твердым телом воде и калориметру, а  $Q_{получ.} = Q_1 + Q_2$  – это количество теплоты, полученное калориметром ( $Q_1$ ) и водой ( $Q_2$ ).

Следовательно,  $|Q| = Q_1 + Q_2$ , где:

$$Q_{отд.} = c \cdot m \cdot (t^\circ - t_2^\circ), \quad Q_{отд.} < 0, \text{ так как } t^\circ < t_2^\circ;$$

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t^\circ - t_1^\circ), \quad Q_1 > 0, \text{ так как } t^\circ > t_1^\circ;$$

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t^\circ - t_1^\circ), \quad Q_2 > 0, \text{ так как } t^\circ > t_1^\circ.$$

Следовательно, удельная теплота твердого тела  $c$  равна:

$$c = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2)(t^\circ - t_1^\circ)}{m(t^\circ - t_2^\circ)}.$$

**Необходимые приборы и материалы:** калориметр, весы, лабораторный термометр, твердое тело, набор маркированных грузов, сосуды с водой, спиртовка.

**Порядок выполнения работы:**

1. Взвесьте: калориметр ( $m_1$ ), воду для калориметра ( $m_2$ ) и твердое тело ( $m$ ).
2. Измерьте: начальную температуру воды ( $t_1^\circ$ ) и температуру горячего твердого тела ( $t_2^\circ$ ), для чего твердое тело следует погрузить в кипящую воду.
3. Введите горячее твердое тело в воду калориметра.
4. Измерьте температуру воды ( $t^\circ$ ), когда все три тела находятся в тепловом равновесии.
5. Вычислите удельную теплоту твердого тела.

## С. Исследуй

1. Подготовка сообщения:

**Механизм теплопередачи посредством теплопроводности и конвекции**

**План работы:**

1. Воспользуйтесь дополнительными источниками информации по данной теме.
2. Отберите по своему усмотрению необходимый материал.
3. Сравните выбранную информацию и проверьте ее точность (посоветуйтесь с преподавателем).
4. Постарайтесь найти различные источники информации.
5. Оцените собственный труд.

**Примечание:** Используйте знания о внутренней энергии, температуре, расстоянии между частицами, тепловом расширении и т.д.

2. Имея в распоряжении следующие материалы и инструменты: два лабораторных штатива, спиртовку, три проволоки, равные по длине, но разные по толщине и материалу: стальную, алюминиевую и медную, опытным путем исследуйте зависимость скорости теплопроводности от вида металла и его толщины.
- Разработайте план исследования, взяв за основу эксперимент № 1 на стр. 45.
  - Проведите исследование.
  - Сформулируйте соответствующие выводы о зависимости скорости теплопроводности от металла и его толщины.
  - Предложите эксперимент для исследования теплопроводности стекла, дерева и пластмассы.
3. Исследуйте скорость нагревания воды в зависимости от состояния ее свободной поверхности, имея в распоряжении: сосуд с водой комнатной температуры (500 см<sup>3</sup>), три реторты, три подставки для реторт, три спиртовки, три лабораторных термометра, две пипетки: одну – с растительным маслом, другую – со спиртом.
- Разработайте план экспериментального исследования скорости нагревания воды в следующих случаях:
    - поверхность воды в реторте свободна;
    - на поверхности воды находится тонкий слой растительного масла;
    - на поверхность воды капнули спиртом.
  - Разработайте таблицу и внесите в нее полученные данные.
  - Постройте в одной системе координат графики зависимости температуры воды от времени нагревания для всех трех случаев.
  - Сравните графики и сформулируйте соответствующие выводы.

#### 4. **Количественное исследование испарения**

*Цель:* Определение зависимости скорости испарения от следующих факторов:

- температуры жидкости;
- поверхности контакта с воздухом;
- массы (или объема) жидкости;
- рода жидкости;
- скорости движения воздуха над поверхностью жидкости.

*Необходимые приборы и материалы:* три стеклянных сосуда (два из них одинаковые), холодная и теплая вода (по 500 см<sup>3</sup>), два одинаковых лабораторных термометра, весы, маркированные массы, растительное масло (100 см<sup>3</sup>).

##### **Порядок выполнения работы:**

- Разработайте план исследования.
- Используйте таблицу, приведенную ниже.
- Проанализируйте выполненные эксперименты.
- Сформулируйте выводы.
- Представьте результаты исследования в ясной и краткой форме.

№	Изменяющийся фактор	Неизменяющийся фактор	До эксперимента	После эксперимента
1.	Температура воды	2; 3; 4; 5		?
2.	Поверхность контакта с воздухом	1; 3; 4; 5		?
3.	Масса (или объем) воды	1; 2; 4; 5		?
4.	Скорость движения воздуха над поверхностью жидкости	1; 2; 3; 5		?
5.	Род жидкости	1; 2; 3; 4		?

## 5. Качественное исследование испарения

**Цель:** Определение зависимости скорости испарения от факторов, рассмотренных в предыдущем исследовании.

**Необходимые приборы и материалы:** три пипетки: с водой, спиртом и растительным маслом, три стеклянные пластины, спиртовка, подставка для пластин, лист бумаги формата А4.

- Разработайте план исследования.
- Проведите эксперимент относительно указанных факторов.
- Кратко опишите свои наблюдения за зависимостью скорости испарения от различных факторов.

### 6. Проведите исследование, представленное на рис. 1.

- Опишите в тетради тепловые процессы, которые происходят от начала горения спирта в спиртовке до выброса пробки.
- Каковы этапы передачи и превращения тепла  $Q$ , происходящие при горении?
- Опишите кратко процесс преобразования тепла в механическую работу.
- Сформулируйте выводы.

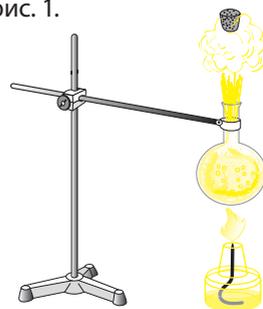


Рис. 1

### 7. Подготовьте сообщение на тему:

#### **Топливная проблема Республики Молдова**

##### **План работы:**

- Ознакомьтесь с различными источниками информации на эту тему.
- Отберите необходимый, по вашему мнению, материал.
- Посоветуйтесь с преподавателем.
- Представьте полученную информацию в логической форме, ясной и краткой, используя иллюстративный материал: схемы, диаграммы, таблицы и т.д.

- д) Сформулируйте свое мнение относительно рассмотренной проблемы и предложите пути ее решения.
- 8.** Имея в распоряжении два одинаковых металлических шара, исследуйте процесс превращения потенциальной энергии в кинетическую, а затем в механическую работу и, соответственно, в изменение внутренней энергии при их падении:
- а) Шары массой  $m = 200$  г падают с одной и той же высоты  $h = 2$  м: первый – на глиняную землю, второй – на металлическую пластину.
  - б) Анализируйте процесс превращения потенциальной энергии шаров в кинетическую при свободном падении.
  - в) Вычислите величину кинетической энергии шаров при приземлении.
  - г) Как взаимодействуют шары с поверхностью, на которую они приземлились?
  - д) У какого шара сильнее изменится внутренняя энергия?
  - е) Объясните ответ и сформулируйте выводы.

**9. Подготовьте сообщение на тему:**

***Промышленный и технический прогресс и окружающая среда***

**Цели:**

- Описание истории развития тепловых машин (двигателей).
- Объяснение положительной роли развития техники и промышленности для цивилизации.
- Объяснение отрицательного влияния развития промышленности и техники на окружающую среду.
- Анализ источников загрязнения окружающей среды в Республике Молдова (и в вашем родном городе или селе).

**План работы:**

- Изучите различные источники информации по теме.
- Посоветуйтесь с преподавателем.
- Отберите необходимые материалы.
- Представьте сообщение по выбранной теме логично, ясно и кратко, используя различные формы иллюстрации: схемы, таблицы, диаграммы и т.д.
- Оцените собственный труд.

**10. Подготовьте сообщение на тему:**

***Значение топлива для современной цивилизации***

**План работы:**

- Изучите различные источники информации по этой теме.
- Отберите необходимый, с вашей точки зрения, материал.
- Посоветуйтесь с преподавателем.
- Представьте полученную информацию в логической форме, ясно и кратко, используя различные схемы, таблицы, диаграммы и т.д.
- Сформулируйте выводы и предложите решение поставленных проблем.

# СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

Данный тест предназначен для определения уровня знаний (в баллах), приобретенных вами при изучении этой главы.

## I. В заданиях 1-5 представьте полное решение задач.

Исследование тепловых процессов плавления, нагревания и охлаждения льда.

1. Кусок льда, находясь при температуре плавления, превратился в воду, поглотив при этом количество теплоты  $Q = 1,34 \cdot 10^5$  Дж.  
Определите массу льда. .... 5 б.
2. Вся вода, полученная при таянии льда, была нагрета до  $70^\circ\text{C}$ .  
Какое количество теплоты понадобилось для этого теплового процесса? .... 5 б.
3. Нагретая до  $70^\circ\text{C}$  вода была оставлена на 10 минут остывать.  
Данные этого теплового процесса представлены в таблице ниже.

$t$ , мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , $^\circ\text{C}$	70	66	62,5	60	58	55,3	53,5	52	50,5	49,5	49

- a) Постройте график зависимости температуры от времени .... 5 б.
  - b) Определите количество теплоты, отданное при этом окружающей среде .... 5 б.
  - b) Насколько изменилась внутренняя энергия этого количества воды, охладившейся в данный период времени? .... 5 б.
4. Далее для опыта использовали половину полученной воды.  
Ее также нагрели до  $70^\circ\text{C}$ . Какое количество тепла было для этого необходимо? .... 5 б.
  5. Нагретая до  $70^\circ\text{C}$  вода была оставлена на 10 минут остывать.  
Данные этого теплового процесса представлены в таблице ниже.

$t$ , мин	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$t$ , $^\circ\text{C}$	70	63	58	54	51	48	45,5	43,5	41,5	39,5	39

- a) В той же системе координат постройте график зависимости температуры от времени .... 5 б.
  - b) Определите количество теплоты, отданное при этом окружающей среде .... 5 б.
  - b) Насколько изменилась внутренняя энергия этого количества воды, охладившейся в данный период времени? .... 5 б.
- ## II. В заданиях 6-7 представьте ответ в свободной форме.
6. Проанализируйте ход этих двух процессов охлаждения, сравнив их графики .... 10 б.
  7. Назовите еще четыре фактора, от которых зависит скорость охлаждения воды в этих процессах .... 5 б.

## Глава 3

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

### 1. Теоретическая часть

- 1.1. Электрическое поле.  
Электрическое напряжение
- 1.2. Постоянный электрический ток.  
Сила электрического тока
- 1.3. Электрическая цепь.  
Электрическое сопротивление
- 1.4. Закон Ома для участка цепи
- 1.5. Закон Джоуля.  
Закон Ома для полной цепи

*Обобщение*

*Проверь себя*

### 2. Практическая часть

- 2.1. Проблемные ситуации
  - А. Выполни упражнения
  - В. Экспериментируй
  - С. Исследуй

*Суммативный тест*





## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Электрическое поле.

#### Электрическое напряжение

О способах электризации физических тел и особенностях их взаимодействия вы знаете из уроков, пройденных вами в VI классе. Также вы знаете, что состояние электризации тела характеризуется физической величиной, называемой *электрическим зарядом* (символ  $q$ , единица измерения *кулон*), а именно: насколько электризация тела больше, настолько больше его электрический заряд. Электризованные тела имеют свои особенности взаимодействия: заряженные одноименными зарядами, положительными или отрицательными, *отталкиваются*; заряженные разноименными зарядами – *притягиваются*.

#### Историческая справка

Существование двух типов электризации было установлено французским физиком **Шарлем дю Фо (1698-1739)**. Он называл их «стеклянной» и «смоляной».



Бенджамин Франклин

Термин *электрический заряд* был введен в физику выдающимся американским физиком и государственным деятелем **Бенджамином Франклином (1706-1790)**.

Его исследования электрических явлений завершились созданием первой теории электричества (сер. XVIII в.). Он продемонстрировал, что электрическая искра и электрические разряды в атмосфере (молнии) представляют собой одно и то же явление, но в разных масштабах.



Шарль дю Фо

#### Информация

В истории физики существовали различные суждения о механизме электризации тел. К примеру, в XVIII в. считали, что существует так называемый «электрический флюид», поглощаемый телом. В случае, когда тело контактирует с другим, «флюид» может перейти в него. Таким образом, тело, которое имело избыток «флюида», считалось заряженным *положительно*, а тело с недостатком «флюида» – заряженным *отрицательно*.

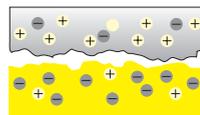
Согласно современным научным представлениям, носителями электрических зарядов являются элементарные частицы. Действительно, молекулы как самые маленькие частицы, сохраняющие свойства вещества, состоят из атомов, а атомы, в свою очередь, состоят из *положительно заряженного ядра*, вокруг которого движутся *отрицательно заряженные электроны*.

Именно электрон считается носителем отрицательного электрического заряда самой маленькой величины  $q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Поэтому тела с избытком электронов заряжены *отрицательно*, а с недостатком электронов – *положительно*. Нейтральные тела содержат одинаковое количество положительных и отрицательных зарядов.



**Анализируй ситуацию!**

- Внимательно рассмотрите иллюстрацию справа.
- Объясните, как происходит электризация двух тел трением.



**Запомни!**

При электризации двух тел трением оба тела заряжаются электрическими зарядами одинаковой величины, но противоположными по знаку.

Это объясняется тем фактом, что *общий электрический заряд* электронов, которые перешли с одного тела на другое, зарядив его *отрицательно*, имеет ту же величину, что и электрический заряд тела, отдавшего электроны, став, таким образом, заряженным *положительно*. Следовательно, электрический заряд системы двух тел остается неизменным.

В этом сущность **закона сохранения электрического заряда**.

**Практическая деятельность**

- Зарядите одноименными зарядами металлическую сферу, установленную на изолированной подставке, и легкий шарик, подвешенный на изолированной нити (так называемый электростатический маятник) (рис. 1).
- Перемещайте нить с шариком на различные расстояния от сферы (положения 1, 2 и 3). Вы видите, что в каждом случае на шарик действует сила, которая уменьшается по мере увеличения расстояния между заряженными телами.

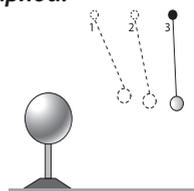


Рис. 1

**Запомни!**

В пространстве вокруг электрического заряда существует **электрическое поле**, которое обладает свойством **воздействовать на заряженные тела**.

**Определение:**

Сила, с которой электрическое поле действует на электрический заряд, называется **электрической силой**.

В VII классе вы изучили понятие *механическая работа*. Механическая работа совершается, когда какая-либо сила, действуя на тело, перемещает его.

Далее исследуем *работу*, выполняемую при перемещении электрического заряда.

**Анализируй ситуацию!**

- Допустим, один электрон переместился в электрическом поле положительного заряда из положения 1 в положение 2 (рис. 2).
- Под действием какой силы двигался электрон?
- Была ли выполнена при его перемещении механическая работа?

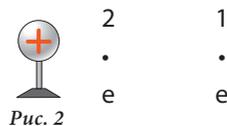


Рис. 2

**Определение:**

**Работа электрических сил при направленном перемещении электрических зарядов называется работой электрического поля.**

Работа электрического поля характеризуется физической величиной, называемой **электрическим напряжением**.

**Определение:** > **Электрическим напряжением** называется физическая величина, которая выражает работу тока по перемещению заряда в 1 Кл между двумя точками поля.

Напряжение обозначается буквой  $U$ .

Из определения следует, что напряжение можно вычислить, разделив работу тока  $A$  на данном участке цепи на электрический заряд  $q$ , который прошел по этому участку. Значит: 
$$U = \frac{A}{q}.$$

Единицей измерения электрического напряжения служит **вольт** (В).

**Определение:** > **1 В** – это напряжение между двумя точками электрического поля, при котором для перемещения электрического заряда в 1 Кл была совершена работа в 1 Дж.

Таким образом: 
$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}.$$

Название единицы измерения **вольт** увековечило имя итальянского ученого **Алессандро Вольта**, который посвятил свою жизнь изучению электрических явлений.

**Историческая справка** > **Алессандро Вольта (1745-1827)** – знаменитый итальянский физик. В 1796 году он открыл эффект, названный его именем. В основе этого открытия лежит идея, взятая им у его соотечественника **Луиджи Гальвани (1737-1798)**, врача по специальности, который первым заметил



Алессандро Вольта

(1786), что во время разрядки электрической машины мышцы препарированной лягушки сокращаются. Вольта экспериментально доказал, что причиной этого эффекта являются два различных металла, которые соединялись благодаря жидкости, содержащейся в мышцах лягушки. Алессандро Вольта ввел два различных



Луиджи Гальвани

металла в слабый кислотный раствор, изобретая, таким образом, первый гальванический элемент (1799). Это изобретение сравнимо по значимости только с созданием десятилетия спустя, в 1942 году в США, ядерного реактора.

Электрическое напряжение измеряется **вольтметром** (рис. 4).

В электрических схемах условное обозначение вольтметра – это кружок с буквой **V** внутри (рис. 3).



Рис. 3

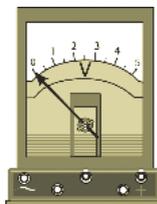


Рис. 4

**Запомни!** > **Вольтметр** подключают параллельно к тому участку, на котором измеряется напряжение, учитывая полярность.

## Эксперимент

### Измерение электрического напряжения

**Необходимые приборы и материалы:** вольтметр, две электролампы низкого напряжения на подставках, источник тока, соединительные провода, выключатель.

#### Порядок выполнения работы:

1. Соберите цепи с *последовательным* подключением ламп (рис. 5).
  - Измерьте напряжение в каждом случае.
  - Сформулируйте выводы об отношении между напряжениями.

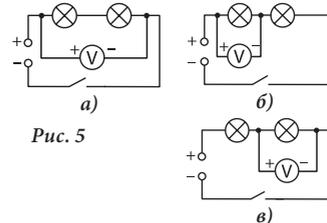


Рис. 5

2. Соберите цепи с *параллельным* подключением ламп (рис. 6).

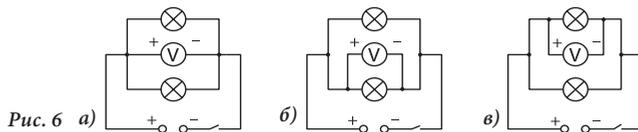


Рис. 6 а)

б)

в)

- Измерьте напряжение в каждом случае.
- Сформулируйте соответствующий вывод.

### Запомни!

При **последовательном** подключении двух потребителей тока общее напряжение равно сумме напряжений каждого участка цепи.

$$U = U_1 + U_2$$

При **параллельном** подключении двух потребителей тока общее напряжение равно напряжению каждого потребителя тока.

$$U = U_1 = U_2$$

### Новые физические понятия

- закон сохранения электрического заряда;
- электрическое напряжение;
- работа электрического поля;
- вольт;
- электрическая сила;
- электрическое поле.

### Проверь свои знания

1. На рис. 7 изображены траектории движения двух капель масла в электрическом поле заряженного шара. Определите:

а) полярность капель;

б) какая из капель имеет меньший заряд.

Нарисуйте в тетради, какими будут траектории капель, если они будут заряжены одноименно.



Рис. 7

2. К концам проводника подключен вольтметр. Какое напряжение он будет указывать при прохождении по проводнику электрического заряда, равного 2 Кл, если электрическое поле совершило работу в 6 Дж?

3. Две лампы соединены последовательно друг с другом. На первую лампу подается напряжение 6,3 В, а на вторую – 4 В. Каково общее напряжение у этих ламп?

4. На рис. 8 изображена шкала вольтметра. Определите:

а) значение одного деления;

б) значение напряжения, указанное вольтметром;

в) максимальное напряжение, которое может быть измерено этим вольтметром.

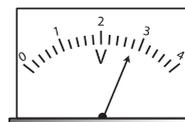


Рис. 8

г) работу, выполненную при прохождении через вольтметр заряда в 5 Кл.

## 1.2. Постоянный электрический ток. Сила тока



Из предыдущего урока вы знаете, что вокруг электризованного тела существует *электрическое поле*. Оно воздействует на электрически заряженные тела с определенной *электрической силой*.

Также вы знаете, что электропроводники – это вещества, в которых свободно перемещаются носители электрических зарядов. Многие из таких веществ являются *металлами*.

Для практического использования важно знать, каким образом ведут себя свободные электроны в металлическом проводнике, находящемся в электрическом поле.

### Историческая справка

Факт, что электризация может быть передана от одного тела к другому через металлические провода, был установлен в 1720 году английским ученым **Стефаном Греем (1670-1736)**. Он классифицировал вещества, разделив их на проводники и изоляторы. Стефан Грей открыл также способ электризации *влиянием*.

### Эксперимент

- На рис. 1 изображен металлический проводник с изолированной ручкой; он соединяет два шара с разноименными зарядами.
- Как будут вести себя в проводнике свободные заряженные частицы? В каком направлении будут двигаться свободные электроны под действием электрической силы?

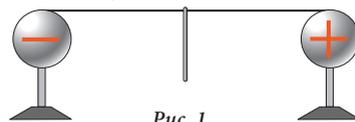


Рис. 1

### Определение:

Упорядоченное движение заряженных частиц называется **электрическим током**.

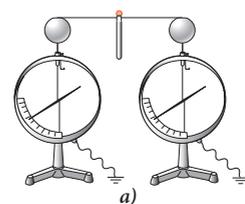
### Выполни упражнения

1. Найдите в словаре значения слова *ток*.
2. Какие из этих значений используются в физике?

Появление электрического тока в проводнике, находящемся в электрическом поле, подтверждается следующим экспериментом.

### Эксперимент

- Зарядите два электрометра разноименными зарядами.
- Соедините сферы электрометров проводником на изолированной ручке, снабженным электрической лампочкой (рис. 2, а).
- Что вы наблюдаете?
- Соедините сферы электрометра с полюсами электрической машины (рис. 2, б).
- Повторите эксперимент, непрерывно заряжая сферы.
- Сформулируйте выводы.



а)

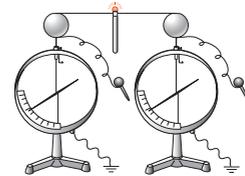


Рис. 2

б)

**Запомни!**

Для получения постоянного электрического тока в проводнике надо создать и поддерживать в нем электрическое поле.



Рис. 3

На практике электрическое поле может поддерживаться длительное время с помощью специальных устройств, называемых **источниками электрического тока**.

Существуют различные источники электрического тока. Общим для всех является то, что в каждом источнике тока происходит отделение отрицательно заряженных частиц от положительно заряженных. Разделенные заряды накапливаются на полюсах. Таким образом, каждый источник тока имеет два полюса: *положительный* и *отрицательный*.

Среди источников тока широкое распространение получили гальванические элементы. Одним из них является элемент Лекланше (рис. 3).

Он состоит из цинкового сосуда, в котором находится графитовый стержень и проводящая жидкость – раствор хлорида аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Стержень введен в сосуд, наполненный двуокисью марганца. При взаимодействии хлорида аммония с цинком, последний заряжается отрицательно, а стержень положительно. Если соединим графитовый стержень и цинковый сосуд проводником, как на рис. 2, свободные электроны в проводнике начнут упорядоченно двигаться. Таким образом, под действием электрического поля возникает электрический ток.

**Запомни!**

**Направлением** электрического тока принято считать направление, противоположное движению отрицательно заряженных частиц, то есть направление движения положительно заряженных частиц.

Иначе говоря, ток движется по проводнику от положительного полюса источника тока к отрицательному.

Далее мы будем изучать электрический ток, направление которого не изменяется; он называется **постоянным током**.



Для того чтобы передать энергию источника электрического тока потребителю, например, электрической лампе, полюса источника тока соединяются проводниками с клеммами потребителя.

Свет лампы, подключенной в такую цепь, зависит от числа заряженных частиц, которые проходят через нить накаливания, и величины их электрического заряда.

**Определение:**

Физическая величина, которая соответствует электрическому заряду, проходящему через поперечное сечение проводника за единицу времени, называется **силой тока**.

Сила электрического тока обозначается буквой  $I$ . Для того чтобы найти силу тока, надо вычислить соотношение электрического заряда  $q$  и времени  $t$ , за которое этот заряд прошел через поперечное сечение проводника.

$$I = \frac{q}{t} \quad (1).$$

Единицей измерения силы тока в СИ является *ампер* (А). Она названа в честь выдающегося французского ученого *Андре Мари Ампера*.

**Историческая справка**

**Андре Мари Ампер (1775-1836)** – французский физик, математик, химик и философ. В 1820 г. А. М. Ампер направил свои исследования на изучение явлений взаимодействия электрического тока и магнитов. Он создал первые приборы для измерения силы тока: амперметр и гальванометр. На основе своих исследований Андре Мари Ампер сформулировал гипотезу о природе магнетизма.



Андре Мари Ампер

Из выражения (1) следует:

$$q = I \cdot t.$$

С помощью единицы измерения силы тока определяется единица измерения электрического заряда в СИ – *кулон* (Кл).

**Определение:**

**1 Кл** – это электрический заряд, который проходит через поперечное сечение проводника за 1 с при силе тока в 1 А.

Таким образом: 1 Кл = 1 А · 1с.

Сила тока измеряется с помощью *амперметра* (рис. 4). Условным обозначением амперметра является кружок с буквой **А** внутри (рис. 5).

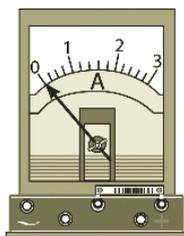


Рис. 4



Рис. 5

**Запомни!**

Амперметр подключают в цепь **последовательно**, соблюдая полярность.

**Эксперимент**

**Измерение силы электрического тока**

**Необходимые приборы и материалы:** амперметр, две электролампы на подставках, источник тока, соединительные провода, выключатель.

**Порядок выполнения работы:**

1. Соберите цепи по рис. 6, подключая потребителей тока последовательно.

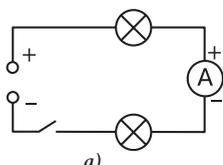
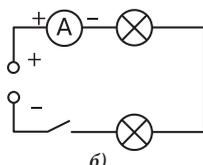
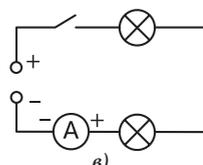


Рис. 6

а)

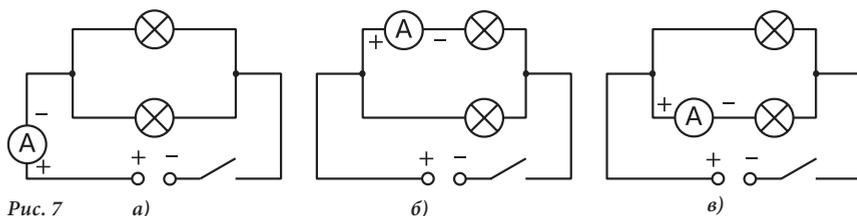


б)



в)

- Измерьте силу тока на различных участках цепи.
  - Сформулируйте вывод относительно величины силы тока.
2. Соберите цепи по рис. 7, подключая потребителей тока параллельно.



- Измерьте силу тока на различных участках цепи.
- Сформулируйте вывод об отношении между силами тока.

**Запомни!**

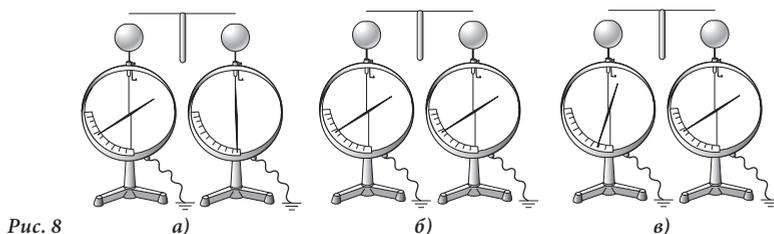
При **последовательном** подключении двух потребителей тока сила тока одинакова в каждом из них.  $I_1 = I_2 = I$   
 При **параллельном** подключении двух потребителей тока сила тока в цепи равна сумме сил тока в каждом из её разветвлений.  $I = I_1 + I_2$

**Новые физические понятия**

- электрический ток;
- постоянный ток;
- источники электрического тока;
- направление электрического тока;
- сила электрического тока.

**Проверь свои знания**

1. Приведите примеры источников тока. Какие виды энергии используются для получения электрического тока в каждом из них?
2. В каком из проводников на изолированной ручке появится электрический ток при соединении сфер электрометров (рис. 8)?



3. Может ли считаться электрическим током:
  - а) электрическая искра между полюсами электрической машины;
  - б) атмосферный электрический разряд;
  - в) падение заряженных капель?
4. За 2 минуты через поперечное сечение проводника прошел заряд 4,8 Кл. Определите силу тока.
5. Переведите в основные единицы СИ: 300 мкА; 0,1 кА; 50 мА; 4 нКл.

# 1.3. Электрическая цепь.

## Электрическое сопротивление.

На предыдущем уроке вы познакомились с источниками электрического тока, которые являются источниками электроэнергии. Также существуют и **потребители** электроэнергии: лампы, двигатели, электрические звонки и другие приборы. Для передачи электроэнергии от источника к потребителю полюса источника тока соединяются с клеммами потребителя **проводами** (рис. 1).

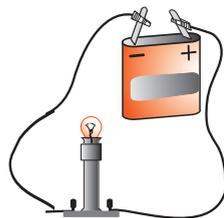


Рис. 1

Для подключения и отключения потребителя тока от источника используются специальные устройства – **выключатели**.

**Запомни!**

Источник электрического тока, выключатель и потребитель тока, соединенные между собой проводами, составляют **простейшую электрическую цепь**.

На рис. 2 представлена подобная электрическая цепь.

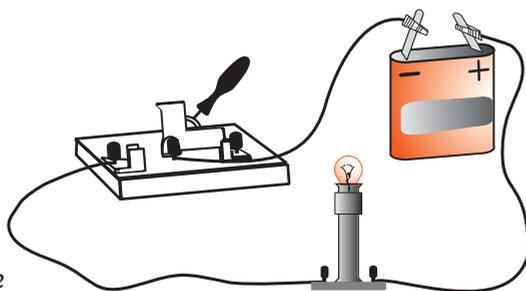


Рис. 2

Чтобы представить графически и лучше понять последовательность соединения элементов в этих цепях, используются специальные чертежи, называемые электросхемами. Элементы цепи на этих схемах представлены условными обозначениями. Некоторые из них изображены на рис. 3.

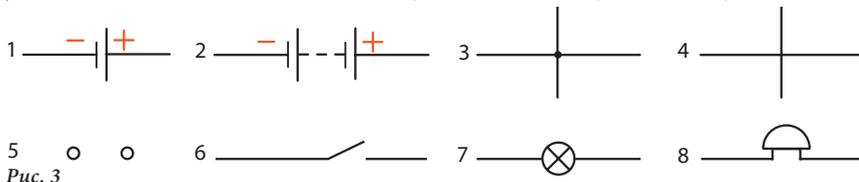


Рис. 3

1. Гальванический элемент или аккумулятор.
2. Батарея элементов.
3. Пересечение проводов.
4. Пересечение проводов без соединения.
5. Зажимы (клеммы) для подключения.
6. Выключатель
7. Электрическая лампа.
8. Электрический звонок.

Схема цепи, изображенной на рис. 2, представлена на рис. 4.

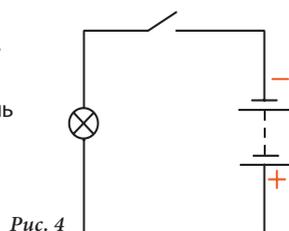


Рис. 4

Далее мы проанализируем особенности движения заряженных частиц в металле, то есть особенности прохождения электрического тока через проводник.

**Экспериментируй**

- Соберите электрическую цепь, представленную на рис. 5.
- Замкните переключатель и запишите значение силы тока. Обратите внимание на яркость света лампы.
- Повторите эксперимент, заменив медный провод никелиновым такого же размера.
- Что вы наблюдаете в этом случае?

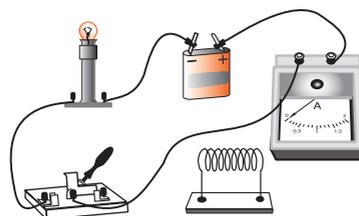


Рис. 5

**Запомни!**

Каждый проводник в какой-то степени препятствует прохождению электрического тока.

**Определение:**

Физическая величина, которая характеризует препятствие, оказываемое прохождению электрического тока по проводнику, называется **электрическим сопротивлением**.

Электрическое сопротивление обозначается буквой  $R$  и измеряется в *омах* (Ом). В электрических схемах часто вводятся устройства с определенным электрическим сопротивлением, называемые **резисторами**. Условным обозначением резистора является, как правило, прямоугольник (рис. 6).

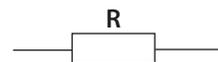


Рис. 6

Электрическое сопротивление измеряют с помощью **омметров**. В электрических схемах в качестве условного обозначения омметра используют кружок с греческой буквой  $\Omega$  (*омега*) внутри (рис. 7).



Рис. 7

**Определение:**

**1 Ом** – это сопротивление проводника, в котором при приложении к его концам напряжения 1 В возникает ток силой 1 А.

Электрическое сопротивление возникает в результате взаимодействия электронов, направленно движущихся по проводнику, с ионами кристаллической решетки проводника. В результате этого взаимодействия через поперечное сечение проводника проходит меньшее количество электронов. Таким образом, уменьшается электрический заряд, перемещаемый за единицу времени, или, иначе говоря, уменьшается сила тока.

Физики установили, что электроны всех кристаллов одинаковы, а ионы отличаются размерами и плотностью расположения. Именно по этой причине одинаковые проводники, изготовленные из различных металлов, имеют различное сопротивление. Сопротивление проводника зависит и от его геометрических параметров: длины и площади поперечного сечения.

## Эксперимент

### Изучение зависимости сопротивления от:

- **длины проводника;**
- **площади поперечного сечения проводника.**

**Необходимые приборы и материалы:** три никелиновых проводника с различными поперечными сечениями, омметр, штативы.

**Порядок выполнения работы:**

- Соберите электрическую цепь по рис. 8. С помощью контакта С можно изменить длину участка проводника, по которому проходит ток.
- Исследуйте зависимость сопротивления проводника от:
  - а) длины проводника  $l$ ;
  - б) площади его поперечного сечения  $S$ .
- Используйте информацию из таблицы.
- Сравните  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  в каждом случае.
- Сформулируйте соответствующие выводы.

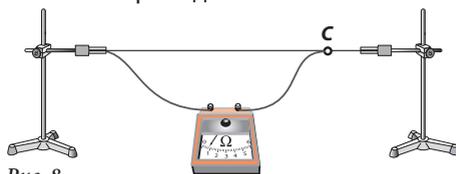
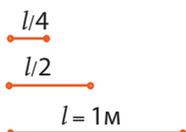
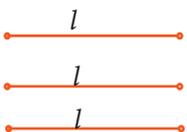


Рис. 8

$S_1 = S_2 = S_3$ 	$S_1 < S_2 < S_3$ 
--	---

### Запомни!

**Электрическое сопротивление** проводника прямо пропорционально длине проводника и обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

Математически это утверждение может быть выражено следующим образом:

$$R \sim \frac{l}{S} \quad (1).$$

Эксперимент, представленный на рис. 5, доказывает, что электрическое сопротивление проводника зависит и от вещества, из которого он изготовлен. Физическая величина, характеризующая зависимость сопротивления проводника от вещества, из которого он изготовлен, называется **удельным сопротивлением** и обозначается буквой  $\rho$ .

Учитывая вышесказанное, отношение (1) может быть выражено так:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2).$$

Повышение или понижение сопротивления на отдельном участке цепи достигается изменением длины проводника с помощью специального устройства, называемого **реостатом** (рис. 9).

Реостат работает так же, как устройство, представленное на рис. 8. Отличие состоит лишь в том, что провод намотан на цилиндр. В качестве контакта служит ползунок С, который движется по металлическому стержню Т, обеспечивая контакт между стержнем и проводником.

Реостат обозначают на электрических схемах так, как показано на рис. 10.

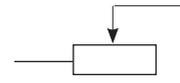
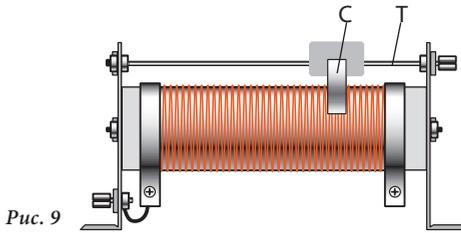


Рис. 10

**Практическая деятельность**

- Нарисуйте реостат, включенный в простую электрическую цепь.
- Изобразите на рисунке путь, пройденный током в следующих случаях:
  - а) ползунок находится в левой части реостата;
  - б) ползунок находится в середине реостата;
  - в) ползунок находится в правой части реостата.
- Сравните принцип действия уже описанного реостата с принципом действия рычажного реостата (рис. 11).

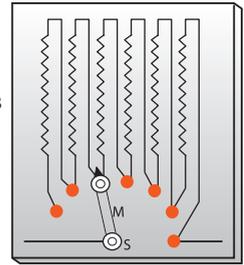


Рис. 11

**Новые физические понятия**

- **простейшая электрическая цепь;**
- **электрическое сопротивление;**
- **удельное сопротивление;**
- **ом;**
- **резистор.**

**Проверь свои знания**

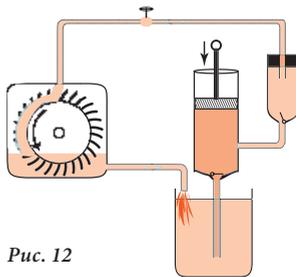


Рис. 12

1. Сравните схему самой простой электрической цепи с циркуляцией воды в системе, представленной на рис. 12.

Каким элементам электрической цепи соответствуют:

- насос;
- турбина;
- вентиль;
- трубы?

2. Объясните причины электрического сопротивления.

3. Во сколько раз увеличится/уменьшится сопротивление проводника:

- а) при уменьшении длины в два раза;
- б) при увеличении площади поперечного сечения в три раза?

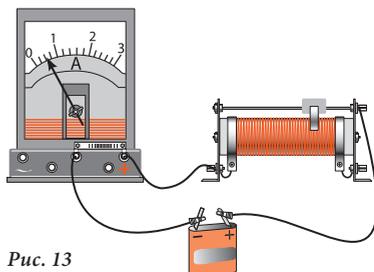


Рис. 13

4. Определите сопротивление медной проволоки ( $\rho_{\text{меди}} = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ ) длиной 200 м и площадью поперечного сечения  $2 \text{ мм}^2$ .

5. Как изменятся показания амперметра (рис. 13) при движении ползунка:

- а) вправо;
- б) влево?

## 1.4. Закон Ома для участка цепи

Вы уже изучили такие физические величины, как сила тока, напряжение, электрическое сопротивление. Далее рассмотрим взаимосвязь между этими величинами.

Особенный интерес представляет зависимость силы тока на участке цепи от напряжения, приложенного к концам этого участка.

### Практическая деятельность

Имея в распоряжении батарею гальванических элементов, амперметр, вольтметр, никелиновую проволоку, соединительные провода и выключатель, исследуем зависимость силы тока от напряжения.

#### Порядок выполнения работы:

- Соберите цепь, схема которой представлена на рис. 1.
- Замкните переключатель и зафиксируйте показания амперметра и вольтметра.
- Повторите эксперимент, подключив к батарее еще один элемент.
- Запишите результаты измерений в таблицу.

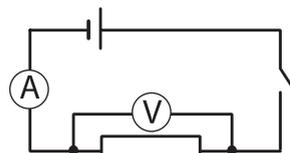
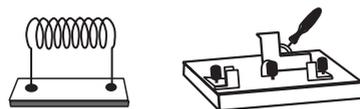
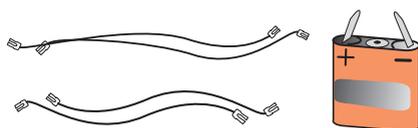


Рис. 1

В проведенных экспериментах сопротивление никелинового проводника не менялось. Изменялись только сила тока, проходящего через проводник, и напряжение на его концах. При увеличении напряжения на концах участка цепи увеличивается и напряжение тока на этом участке.

Из уроков математики вы знакомы с прямо пропорциональными и обратно пропорциональными величинами.

### Запомни!

Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному на концах этого участка.

Математически это утверждение записывается следующим образом:

$$I \sim U.$$

Чтобы продемонстрировать зависимость силы тока от сопротивления на некотором участке цепи, будем поддерживать постоянное напряжение на концах этого участка.

### Практическая деятельность

Имея в распоряжении батарею гальванических элементов, магазин сопротивлений, реостат, вольтметр, амперметр, выключатель и соединительные провода, исследуем зависимость силы тока от сопротивления участка цепи.

- Соберите цепь из приборов, представленных на рис. 2. При этом реостат и магазин сопротивлений подключите последовательно, а вольтметр – параллельно с магазином сопротивлений.
- Замкните цепь и установите при помощи реостата напряжение 2 В.
- Зафиксируйте показания амперметра. Запишите в таблицу значения силы тока и сопротивления.
- Повторите эксперимент, изменив сопротивление магазина.

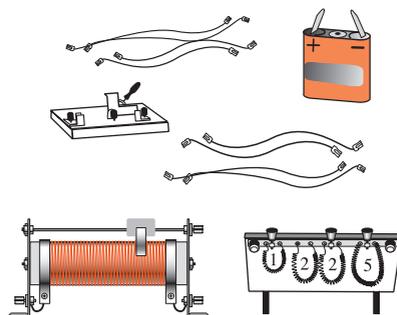


Рис. 2

Если на концах участка цепи будет поддерживаться постоянное напряжение, то:

- 1) при увеличении сопротивления участка цепи сила тока будет уменьшаться;
- 2) при уменьшении сопротивления участка цепи сила тока будет увеличиваться.

В математике подобную зависимость величин называют **обратно пропорциональной**.

**Запомни!**

Сила тока на участке цепи обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.



Георг Ом

Математически это утверждение записывается следующим образом:

$$I \sim \frac{1}{R}.$$

Зависимость силы тока от напряжения, приложенного к участку цепи, и от его сопротивления была открыта в 1827 г. немецким ученым **Георгом Омом (1787-1854)**. Эта зависимость называется **законом Ома для участка цепи**.

**Запомни!**

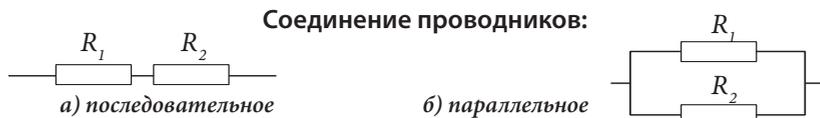
Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к этому участку, и обратно пропорциональна его сопротивлению.

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закон Ома является одним из фундаментальных законов физики.

Этот закон действителен для металлических проводников, к концам которых прилагается не очень высокое напряжение.

В дальнейшем мы будем применять закон Ома для вычисления сопротивления проводников, соединенных последовательно и параллельно.



Поскольку при: **последовательном соединении**      **параллельном соединении**

$$U = U_1 + U_2,$$

$$I = I_1 + I_2,$$

а согласно закону Ома

$$U = I \cdot R,$$

$$I = \frac{U}{R},$$

тогда, совместив оба выражения, получим:

$$IR = I_1 R_1 + I_2 R_2.$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}.$$

Так как:

$$I_1 = I_2 = I,$$

$$U_1 = U_2 = U,$$

то:

$$IR = IR_1 + IR_2.$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

Выносим за скобки общий множитель

$$IR = I(R_1 + R_2),$$

$$U \frac{1}{R} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

затем, сократив выражение, получаем:

$$R = R_1 + R_2.$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

**Запомни!**

**При последовательном соединении** проводников общее сопротивление равно сумме сопротивлений отдельных проводников.

**При параллельном соединении** проводников обратная величина общего сопротивления равна сумме обратных величин сопротивлений отдельных проводников.

**Новые физические понятия**

- закон Ома для участка цепи;
- общее сопротивление.

**Проверь свои знания**

1. Каковы будут показания вольтметра в цепи, изображенной на рис. 3, если амперметр показывает 3 А, а сопротивление резистора  $R = 2 \text{ Ом}$ ?

2. По спирали электроплитки с сопротивлением 250 Ом проходит электрический ток силой 2 А. Определите напряжение, приложенное к электроплитке.

3. Электрическая цепь состоит из двух проводников с присоединенными параллельно сопротивлениями 5 Ом и 10 Ом, соответственно. Нарисуйте схему цепи и определите ее общее сопротивление.

4. Электрическая цепь состоит из 30 одинаковых электроламп, соединенных последовательно. Определите сопротивление одной лампы, если известно, что общее сопротивление цепи равно 120 Ом.

5. Нарисуйте схему электрической цепи, которая позволит определить сопротивление электролампы с помощью вольтметра и амперметра.

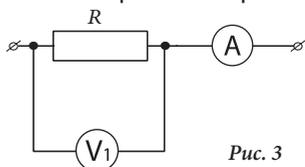


Рис. 3

## 1.5. Закон Джоуля. Закон Ома для полной цепи

**Информация**

Из определения силы электрического тока следует:  $q = I \cdot t$  (1).

Из определения электрического напряжения можно выразить работу тока:

$$A = U \cdot q \quad (2).$$

Подставив (1) в (2), получим формулу для вычисления работы тока:

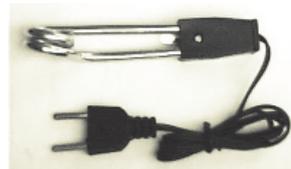
$$A = U \cdot I \cdot t.$$

Из программы VII класса вы знаете определение механической мощности:

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

Следовательно, мощность электрического тока равна:

$$P = \frac{U \cdot I \cdot t}{t} = U \cdot I \quad \text{или} \quad P = U \cdot I.$$



**Запомни!**

**Мощность электрического тока равна произведению напряжения и силы тока.**

Из формулы  $P = U \cdot I$  следует, что  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}$ .

Мощность электрического тока может быть определена с помощью вольтметра и амперметра.

**Практическая деятельность**

### Определение мощности электрической лампы

**Необходимые приборы и материалы:** батарея гальванических элементов, лампа низкого напряжения на подставке, вольтметр, амперметр, выключатель, соединительные провода.

#### Порядок выполнения работы:

- Разработайте схему цепи, предназначенной для определения мощности лампы.
- Соберите эту цепь.
- Замкните цепь и запишите показания приборов.
- Вычислите мощность проходящего через лампу электрического тока.

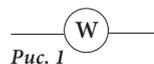


Рис. 1

Мощность электрического тока в цепи может быть измерена напрямую, с помощью *ваттметра*. Условным обозначением ваттметра является кружок с буквой **W** внутри (рис. 1).

**Экспериментируй**

- Соберите цепь по схеме (рис. 2). В качестве проводника используйте никелиновый провод в форме спирали, зафиксированный на подставке, а в качестве источника тока – батарею гальванических элементов.
- Замкните цепь и коснитесь спирали рукой.
- Что наблюдаете?



Рис. 2

### Историческая справка

Это явление было открыто в 1801 г. английским ученым Гемфри Дэви. Он соединил полюса батареи элементов Вольта тонким платиновым проводком. Через некоторое время проводок накалился до покраснения.

### Определение:

Явление нагревания проводника под действием электрического тока называется **тепловым действием электрического тока**.

Причиной нагревания проводника, по которому идет ток, является взаимодействие свободных электронов металла с ионами кристаллической решетки. В результате этого взаимодействия электроны передают часть своей энергии ионам решетки. Экспериментально доказано, что в неподвижных металлических проводниках вся работа тока направлена на увеличение их внутренней энергии. Таким образом, количество теплоты, выделенное проводником, будет равно работе тока.

$$\text{То есть: } Q = A \text{ или } Q = U \cdot I \cdot t \quad (3).$$

Исходя из закона Ома для участка цепи, выразим электрическое напряжение.

$$U = I \cdot R \quad (4).$$

Подставив (4) в (3), получим:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot T \quad (5).$$

### Запомни!

Количество теплоты, выделяемое проводником с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока.

Это правило известно под названием **закона Джоуля**, а формула (5) математически выражает этот закон. Впервые этот закон был доказан экспериментально в 1841 г.

### Практическая деятельность

#### Проверка закона Джоуля

**Необходимые приборы и материалы:** два одинаковых калориметрических сосуда с водой, два никелиновых (или железных) провода длиной  $l$  и  $2l$ , два амперметра, два термометра, источник тока на 12 В, соединительные провода, выключатель, реостат.

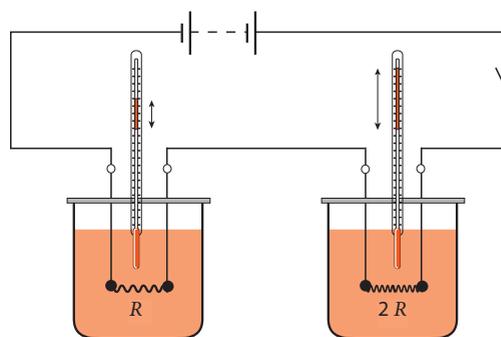


Рис. 3

#### Порядок выполнения работы:

- Соберите цепь, представленную на рис. 3.
- Установите зависимость между теплотой, выделяемой проводником при прохождении по нему электрического тока, и его сопротивлением.

- Соберите цепь, представленную на рис. 4.
  - Проверьте зависимость теплоты, выделяемой проводником, от силы тока.
  - Соберите цепь для экспериментальной проверки зависимости выделяемой теплоты от времени прохождения тока.
  - Сформулируйте выводы.
- Тепловое действие электрического тока имеет разнообразное практическое применение.

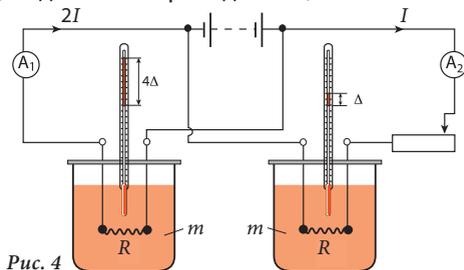


Рис. 4

Примером, с которым мы встречаемся ежедневно, может служить **лампа накаливания**.

Рассмотрим замкнутую электрическую цепь, состоящую из резистора и источника постоянного тока (рис. 5). Работа источника тока состоит в поддержании разницы потенциалов постоянной  $U$  на ее полюсах. Благодаря этой разнице потенциалов, по резистору  $R$  будет проходить постоянный электрический ток.

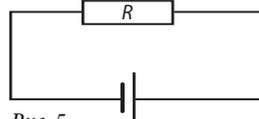


Рис. 5

Почему под действием электрической силы избыток электронов не проходит через источник тока от клеммы «-» к клемме «+»? Это можно объяснить, если предположить, что внутри источника тока существует поле иной природы, неэлектрической. Это поле образовано внешними силами, направленными противоположно электрическим силам и, таким образом, компенсирующими поле, действующее на заряд с электрической силой. Энергетическая характеристика этого поля называется **электродвижущей силой (ЭДС)**.

**Запомни!**

**Электродвижущая сила (ЭДС) выражает работу внешних сил, необходимую для перемещения положительного заряда в 1 Кл внутри источника тока от одного полюса до другого.**

Электродвижущая сила обозначается буквой  $\mathcal{E}$  (эпсилон). Согласно определению, ЭДС равна:  $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{внеш.}}}{q}$ , где  $A_{\text{внеш.}}$  – работа внешних сил, а  $q$  – величина положительного заряда.

Существуют различные источники электрического тока. Общим для всех является то, что в каждом источнике тока происходит отделение отрицательно заряженных частиц от положительно заряженных. Разделенные заряды накапливаются на противоположных полюсах.

Химические источники тока позволяют получить ЭДС величиной до 2 В. При этом химические реакции могут быть *обратимыми* и *необратимыми*. Например, в гальванических элементах, состоящих из цинковых и медных пластин, погруженных в раствор серной кислоты, медный электрод постепенно растворяется и, таким образом, химическая реакция становится

необратимой. В аккумуляторах химические реакции обратимы: использованный электрод восстанавливает свои функции в результате подзарядки устройства.

Допустим, через поперечное сечение проводника из цепи на рис. 5 проходит за время  $t$  электрический заряд  $q$ . Тогда работа внешних сил будет

$$A_{\text{внеш.}} = q \cdot \mathcal{E} \quad (6).$$

Из формулы  $I = \frac{q}{t}$  получаем:  $q = I \cdot t$  (7).

Подставив (7) в (6), получим формулу вычисления работы внешних сил:

$$A_{\text{внеш.}} = I \cdot \mathcal{E} \cdot t \quad (8).$$

При выполнении этой работы во внешней и внутренней цепи выделяется количество теплоты  $Q$ , которое, согласно закону Джоуля, равно:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t = I^2 \cdot t \cdot (R + r) \quad (9).$$

где  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

Согласно закону сохранения энергии:

$$A_{\text{внеш.}} = Q \quad (10).$$

Подставив (8) и (9) в (10), получим:

$$I \mathcal{E} t = I^2 \cdot t \cdot (R + r),$$

отсюда:  $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$  (11).



Формула (11) представляет собой математическое выражение **закона Ома для полной цепи**.

**Запомни!** Сила тока в полной цепи равна отношению электродвижущей силы источника и общего сопротивления цепи.

**Новые физические понятия**

- мощность электрического тока;
- тепловое действие тока;
- электродвижущая сила (ЭДС);
- внутреннее сопротивление источника;
- закон Ома для полной цепи.

- Проверь свои знания**
1. На батарейке указано 4,5 В. Что это означает?
  2. Может ли в замкнутой цепи существовать постоянный электрический ток, если отсутствует ЭДС? Почему?
  3. Для разделения зарядов в +8 Кл и –8 Кл, внешние силы проделали работу в 12 Дж. Какой электродвижущей силой обладает источник тока?
  4. Генератор с ЭДС в 2 В перемещает от одного полюса батареи до другого заряд 450 Кл. Какую работу в этом случае выполняют внешние силы?
  5. К источнику тока с ЭДС в 12 В и внутренним сопротивлением 1 Ом подключен реостат с сопротивлением 5 Ом. Определите силу тока в цепи и падение напряжения на резисторе.

## Обобщение

Физические тела могут быть наэлектризованы, в результате чего они получают способность взаимодействовать с другими телами.

**Электрический заряд** – это физическая величина, которая характеризует степень электризации тела. Условным обозначением электрического заряда является  $q$ , а единицей измерения **кулон** (Кл).

Вокруг заряженного тела существует **электрическое поле**, которое действует на электризованные тела с силой, называемой **электрической силой**.

Физической величиной, выражающей работу электрических сил (работу поля) по перемещению заряда в 1 Кл между двумя точками поля, является **напряжение**. Условное обозначение электрического напряжения  $U$ ,

единицей измерения является **вольт** (В). 
$$U = \frac{A}{q}$$

Напряжение измеряется с помощью **вольтметра**.

Упорядоченное движение заряженных частиц называется **электрическим током**. Направлением движения электрического тока принято считать направление его положительно заряженных частиц. Иначе говоря, ток движется по проводнику от положительного полюса (+) к отрицательному (-). Электрический ток, направление движения которого не меняется, называется **постоянным электрическим током**.

Для получения в проводнике электрического тока необходимо создать и поддерживать в нем с помощью **источника тока** электрическое поле. В каждом источнике тока совершается работа по отделению отрицательных и положительных зарядов.

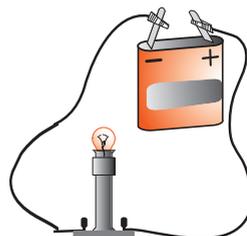


Рис. 1

Для передачи энергии от источника тока потребителю, например, электролампе, полюса источника тока соединяются проводами с потребителем. Физическая величина, которая выражает электрический заряд, проходящий за секунду через поперечное сечение проводника, называется **силой электрического тока**. Условное обозначение силы тока –  $I$ , единица измерения – **ампер** (А). 
$$I = \frac{q}{t}$$

Сила тока измеряется **амперметром**.

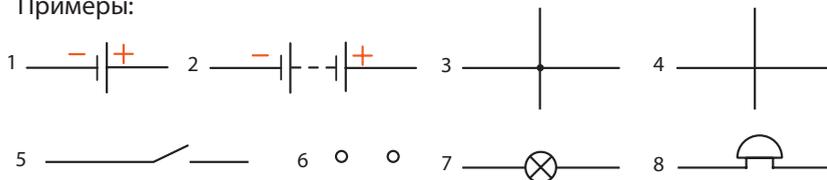
Для соединения и разъединения источника тока и потребителя используется **переключатель**.

Источник тока, потребитель и переключатель составляют вместе **простейшую электрическую цепь**.

Для графического изображения и лучшего понимания способа подключения приборов и устройств к электроцепи используются специальные рисунки, называемые **электрическими схемами**. Приборы и другие элементы цепи обозначаются условными знаками (рис. 2).

Каждый проводник в большей или меньшей степени сопротивляется

Примеры:



- |  |                                     |
|--|-------------------------------------|
| 1. Гальванический элемент или аккумулятор. | 5. Выключатель.                     |
| 2. Батарея элементов.                      | 6. Зажимы (клеммы) для подключения. |
| 3. Соединение проводов.                    | 7. Электрическая лампа.             |

Рис. 2 4. Пересечение проводов без соединения. 8. Электрический звонок.

прохождению электрического тока. Физическая величина, характеризующая это свойство проводника, называется **электрическим сопротивлением**. Условным обозначением сопротивления является  $R$ , единица измерения – *Ом* (Ом). Сопротивление измеряется *омметром*.

Электрическое сопротивление зависит от длины проводника, площади его поперечного сечения и материала, из которого изготовлен проводник  $R = \rho \frac{l}{S}$ , где  $\rho$  – **удельное сопротивление**, постоянная величина для определенного вещества.

Сопротивление участка цепи изменяется с помощью **реостата**.

Причина существования сопротивления состоит во взаимодействии электронов, направлено движущихся в проводнике, с ионами кристаллической решетки проводника. При этом проводник нагревается, таким образом проявляется **тепловой эффект** электрического тока.

Количество выделенной проводником теплоты равно **работе электрического тока**.

$$Q = U \cdot I \cdot t \quad \text{или} \quad Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (1)$$

Выражение (1) представляет собой **закон Джоуля**.

Примерами использования теплового эффекта электрического тока могут служить: лампа накаливания, плавкий предохранитель, электроплита, утюг, электрическая духовка и мн. др.

Зависимость силы тока на участке цепи от напряжения, поданного на его концы, и от сопротивления этого участка проводника выражена в **законе Ома для участка цепи**.

$$I = \frac{U}{R}$$

Работа внешних сил, необходимая для перемещения положительного заряда в 1 Кл внутри источника от одного полюса до другого, называется **электродвижущей силой (ЭДС)**. Условное обозначение  $\mathcal{E}$ , единица измерения – *вольт* (В).

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{внеш.}}}{q}$$

Для полной цепи (рис. 3) действителен **закон Ома для полной цепи**:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \quad \text{где } r \text{ – внутреннее сопротивление источника тока.}$$

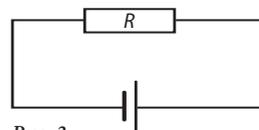


Рис. 3

# ПРОВЕРЬ СЕБЯ

Определите уровень знаний, усвоенных вами при изучении данной главы, подсчитав количество баллов.

## I. В заданиях 1-4 дайте краткий ответ.

1. Продолжите утверждения так, чтобы они были правильными: ... по 1 б.

- а) Электрический заряд – это физическая величина, которая характеризует..... тела.
- б) В пространстве вокруг заряженного тела существует .....
- в) Движение заряженных частиц называется.....
- г) Напряжение – это физическая величина, которая выражает ..... при перемещении заряда в 1 Кл между двумя точками цепи.
- д) Электрическое сопротивление характеризует свойство проводника ..... продвижению электрического тока.

2. Установите с помощью стрелок соответствие между физическими величинами и единицами измерения: ..... по 1 б.

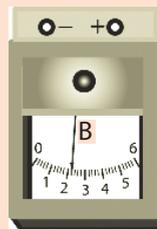
Электрический заряд	мВ
Сила тока	Ом
Электрическая сила	кВт
Электрическое напряжение	мкА
Электрическое сопротивление	Кл
Работа электрического тока	кДж
Мощность электрического тока	кВт · ч
	мН

3. Переведите в СИ: ..... по 2 б.

- 1,6 нКл;                      350 мА;
- 0,5 кОм;                     20 кВт · ч.

4. Рассмотрите рисунок и определите:

- а) величину одного деления шкалы вольтметра ... 1 б.
- б) максимальную величину напряжения, которую он может измерить..... 1 б.
- в) величину напряжения, указанную прибором ... 2 б.
- г) силу тока на участке цепи с сопротивлением 2 Ом, к которому подключен этот вольтметр ... 2 б.



## II. В задании 5 дайте ответ в свободной форме.

5. Напишите эссе об источниках тока, описав:

- а) их предназначение и классификацию; ..... 3 б.
- б) структуру элемента Лекланше; ..... 3 б.
- в) принцип действия и характеристики. .... 4 б.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Проблемные ситуации

#### А. Выполни упражнения

1. К клеммам электролампы подключено напряжение 4 В. Какая работа была выполнена при прохождении через нити накала электронов с общим зарядом 3 Кл?
2. К концам проводника подключено напряжение, равное 1,5 В. Определите электрический заряд, который проходит через проволоку, если работа электрического поля равна 12 Дж.
3. Через два проводника прошло одинаковое количество электричества. Работа тока, выполненная во втором проводнике, в 3 раза меньше, чем в первом. К какому проводнику подключено большее напряжение? И во сколько раз больше?
4. За какое время через поперечное сечение проводника проходит заряд в 2,4 Кл при силе тока 0,2 А?
5. Определите величину заряда, который проходит через поперечное сечение проводника плиты за 1 ч. при силе тока 2 А.
6. Определите силу тока в проводнике, если за 1 мс через его поперечное сечение прошло  $3 \cdot 10^8$  электронов.
7. Сколько электронов прошло через поперечное сечение нити накала лампы, подключенной к напряжению 200 В, если работа электрического поля равна 1 кДж?
8. Амперметр показывает силу тока в 3 А. Сколько электронов прошло за 2 с через его сечение? Заряд электрона  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.
9. Начертите схему электрической цепи, состоящей из батареи гальванических элементов, выключателя, лампы и вольтметра, таким образом, чтобы вольтметр измерял напряжение:
  - а) электролампы;
  - б) батареи.

В каком случае вольтметр укажет большее напряжение?

10. На рис. 1 представлена схема электрической цепи с двумя вольтметрами. Каковы будут показания вольтметров при замыкании цепи? А если выйдет из строя:
  - а) лампа  $B_1$ ;
  - б) лампа  $B_2$ ?

11. Определите материал, из которого изготовлен проводник длиной 5 м, площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$  и сопротивлением 2 Ом.

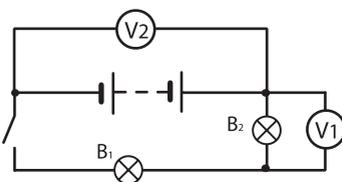
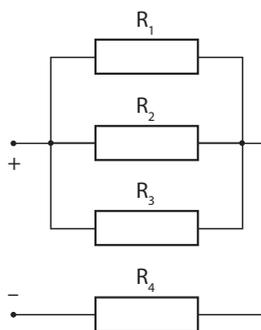


Рис. 1

12. Определите длину кабеля на троллейбусной линии с сопротивлением 1 Ом и площадью поперечного сечения  $1 \text{ см}^2$ , изготовленного из константана.
13. Определите площадь поперечного сечения медного проводника длиной 100 м и с сопротивлением 0,1 Ома.
14. Допустим, у нас в распоряжении два медных проводника равной длины: один с площадью поперечного сечения –  $1 \text{ мм}^2$ , другой –  $5 \text{ мм}^2$ . У какого проводника сопротивление меньше и во сколько раз?
15. Какое поперечное сечение должен иметь медный проводник длиной 1 км, для того чтобы его сопротивление было равно сопротивлению железного проводника с площадью поперечного сечения  $0,25 \text{ мм}^2$  и длиной в два раза меньше?
16. Проводник с сопротивлением 30 Ом был разрезан пополам. Полученные отрезки подключены параллельно. Во сколько раз изменится сопротивление нового проводника? Аргументируйте ответ.
17. Реостат с внешним диаметром цилиндра 1,5 см состоит из 50 витков никелина с площадью поперечного сечения  $0,5 \text{ мм}^2$ . Определите максимальное сопротивление реостата.
18. Определите массу алюминия, необходимую для изготовления проводника длиной 1000 м и с сопротивлением 2,5 Ом.
19. Определите площадь поперечного сечения и длину медного проводника, если его сопротивление  $R = 1 \text{ Ом}$ , а масса равна 20 г.
20. Определите массу алюминиевого проводника с площадью поперечного сечения  $0,3 \text{ мм}^2$ , необходимую для изготовления резистора с сопротивлением 5 Ом.
21. Определите сопротивление лампы, если при напряжении 3,5 В сила тока в ней равна 0,25 А.
22. Определите напряжение на концах никелинового проводника длиной 10 м и площадью поперечного сечения  $1 \text{ мм}^2$ , если сила тока в нем 0,1 А.
23. Во сколько раз уменьшится сопротивление батареи, составленной из трех одинаковых резисторов, подключенных последовательно, при смене их подключения на параллельное?
24. Сопротивления резисторов, представленных на схеме рядом, равны:  $R_1 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 6 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = 5 \text{ Ом}$ . Определите общее сопротивление цепи.
25. Батарея резисторов состоит из двух резисторов по 2,5 Ом, подключенных последовательно, и еще одного резистора в 5 Ом, подключенного параллельно с первыми двумя. Определите общее сопротивление батареи.



26. Имея в виду те же резисторы, что и в предыдущей задаче, составьте новую задачу и решите ее.
27. Определите работу электрического тока, если через проводник под напряжением 30 В прошел заряд 75 Кл.
28. Определите работу тока, который проходит через лампу за 5 мин. Лампа подключена к цепи с напряжением 220 В, а сила тока равна 0,5 А.
29. Определите мощность тока в электролампе под напряжением 220 В, если сопротивление ее нити накаливания равно 484 Ом.
30. Динамо-машина велосипеда вырабатывает ток для электролампы. Сила тока, проходящего через нее, равна 0,28 А. Определите напряжение, приложенное к лампе, и мощность динамо-машины, если за 3 ч ток выполнил работу в 6,72 Вт · ч.
31. Вычислите сумму, необходимую для оплаты электрической энергии, потребляемой электролампой мощностью 60 Вт, которая горит 6 часов в сутки в течение 30 дней. Тариф – 1,6 лея/кВт · ч.
32. При питании электролампы от гальванического элемента с ЭДС 1,5 В, сила тока в цепи равна 0,2 А. Найдите работу внешних сил, совершенную в элементе за 60 с.
33. ЭДС источника постоянного тока равна 12 В, а его внутреннее сопротивление равно 0,5 Ом. При каком внешнем сопротивлении цепи сила тока будет равна 2 А?
34. ЭДС источника постоянного тока равна 24 В. При его соединении с внешним сопротивлением 10 Ом сила тока в цепи составила 2 А. Определите сопротивление источника тока.
35. Напряжение на клеммах источника тока равно 4 В, а сопротивление внешней цепи в три раза больше, чем внутреннее сопротивление источника тока. Чему равна ЭДС источника?
36. Если к гальваническому элементу подключен потребитель тока с сопротивлением  $R_1 = 7$  Ом, амперметр показывает силу тока  $I = 0,14$  А. Если подключится еще один потребитель с сопротивлением  $R_2 = 4$  Ом, сила тока в цепи будет равна  $I_2 = 0,02$  А. Определите ЭДС гальванического элемента.
37. Батарея с ЭДС, равной 6 В, и с внутренним сопротивлением 0,2 Ом питает внешнюю цепь с сопротивлением 2,8 Ом. Какое количество тепла выделится во внешней цепи за 5 мин?

## В. Экспериментируй

1. Объясните, каким образом можно произвести «электростатическую» окраску (рис. 2). Соберите подобное устройство.

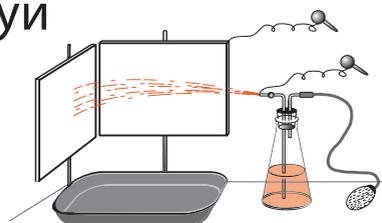
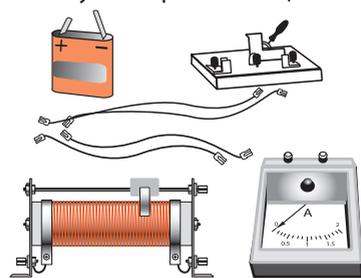


Рис. 2

2. Две одинаковые бусины подвешены на тонких нитях. Одна из них заряжена. Каким образом определить заряженную бусину, если нет под рукой необходимых приборов?
3. Зарядите электрометр через влияние. На каком этапе электризации в стержне электрометра появится ток?
4. В вашем распоряжении заряженный электрометр и металлический проводник. Что вы предпримете, чтобы в проводнике появился электрический ток?
5. Каким образом могут быть заряжены разноименными зарядами два электрометра, если в распоряжении есть только эбонитовая палочка, полотенце и проводник с изолированной ручкой?
6. Имея в распоряжении батарею гальванических элементов, лампу на подставке, выключатель и соединительные провода:
  - а) составьте простейшую электрическую цепь;
  - б) поменяйте последовательность соединения лампы и выключателя;
  - в) сформулируйте выводы.
7. Соберите цепь, состоящую из гальванического элемента и трех электроламп, две из которых подключены параллельно, а третья – последовательно с двумя первыми. Измерьте силу тока на различных участках цепи. Начертите для каждого случая схему электрической цепи.

8. Имея в распоряжении батарею гальванических элементов, реостат с курсором, амперметр, выключатель и соединительные провода:



- а) Составьте цепь по рис. 3.
- б) Замкните цепь и зафиксируйте показания амперметра.
- в) Повторите эксперимент, увеличивая, а затем постепенно уменьшая сопротивление реостата.
- г) Сформулируйте вывод.

**Внимание!**

Не уменьшайте сопротивление реостата до нуля, иначе сила тока может стать больше предела амперметра.

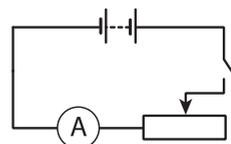
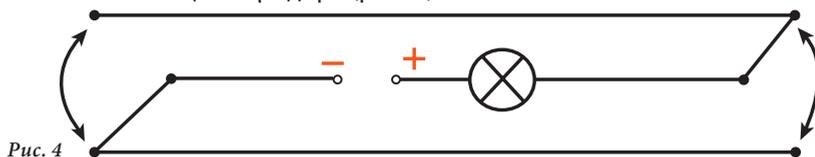


Рис. 3

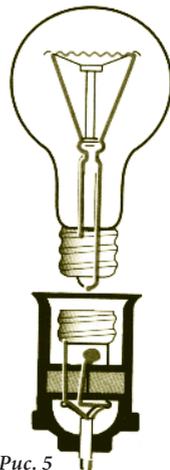
## С. Исследуй

1. Предложите проект устройства для отбора семян зерновых культур с помощью электрического поля.
2. Постройте схему цепи новогодней гирлянды таким образом, чтобы в случае выхода из строя одной электролампы другие продолжали светить.

3. Постройте схему цепи, состоящей из гальванического элемента, двух электроламп и двух выключателей таким образом, чтобы каждая лампа могла включаться отдельно.
4. Соберите цепь, состоящую из гальванического элемента, звонка, двух выключателей и электролампы так, чтобы звонок включался при замыкании цепи, а лампа могла быть включена отдельно.
5. Начертите схему электрической цепи карманного фонарика.
6. Начертите схему размещения электропроводки в двух помещениях так, чтобы при нажатии кнопки, находящейся в первом помещении, во втором помещении срабатывал звонок, и наоборот. Звонки должны питаться от одного источника.
7. Объясните действие электрической цепи, предназначенной для включения и выключения электролампы, находящейся в середине длинного коридора, при помощи переключателей, которые установлены в концах коридора (рис. 4).



8. Соберите любую электрическую цепь из приборов, которые есть у вас в распоряжении. Начертите схему этой цепи.
9. Составьте все возможные схемы подключения трех резисторов  $R_1 = 1$  Ом,  $R_2 = 2$  Ом и  $R_3 = 5$  Ом и определите общее сопротивление для каждого варианта.
10. Изучите устройство и принцип действия лампы накаливания (рис. 5).
  - Почему в стеклянную колбу под малым давлением закачиваются инертные газы?
  - Почему нить накаливания изготавливают из вольфрама?
  - Исследуйте устройство патрона.
  - Представьте на рисунке движение тока по патрону.
11. Исследуйте применение теплового действия электрического тока, изучив один из следующих приборов: электроплиту, утюг, духовую печь, плавкий предохранитель или др., придерживаясь плана:
  1. назначение;
  2. составляющие части и их взаимодействие;
  3. принцип действия;
  4. пределы использования;
  5. правила техники безопасности.



# СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

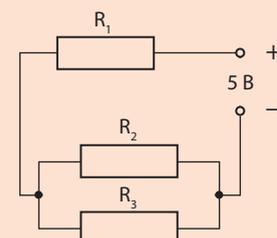
Данный тест предназначен для определения уровня знаний (в баллах), приобретенных вами при изучении этой главы.

## I. На задания 1–5 представьте полное решение задач.

1. Определите длину провода с удельным сопротивлением  $150 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  и площадью поперечного сечения  $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2$ , необходимого для изготовления резистора сопротивлением 75 Ом. .... 3 б.

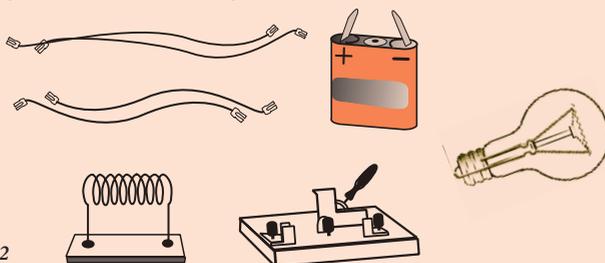
2. Заряд в 5 Кл проходит через поперечное сечение проводника за 3 с. Определите силу тока в проводнике и число электронов, проходящих это сечение за 1 с. .... 3 б.

3. Схема на рис. 1 представляет электрическую цепь, состоящую из трех одинаковых резисторов:  $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$ . Определите:  
а) общее сопротивление цепи. .... 3 б.  
б) силу тока в резисторе  $R_1$ . .... 2 б.



4. Электроплита подключена к источнику тока с напряжением 220 В. За 20 мин. она выделяет количество теплоты, равное 1,05 МДж. Определите силу тока, мощность плиты и стоимость потребленной электроэнергии (тариф – 1,60 леев/кВт · ч) .... 4 б.

5. Нарисуйте схему электрической цепи, составленной из элементов, представленных на рис. 2. .... 2 б.



Объясните действие этой цепи ..... 2 б.

## II. В задании 6 предложите решение создавшейся ситуации.

6. Имея в распоряжении электролампу для напряжения 3,5 В, провод с определенным удельным сопротивлением и диаметром и линейку, составьте электрическую цепь, с помощью которой лампа сможет питаться от источника тока в 5 В. Нарисуйте схему цепи и охарактеризуйте ее элементы. .... 7 б.

# Глава 4

## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

### 1. Теоретическая часть

1.1. Магнитное поле электрического тока

1.2. Электромагнитная сила

1.3. Электромагниты.  
Электрические моторы

*Обобщение*

*Проверь себя*

### 2. Практическая часть

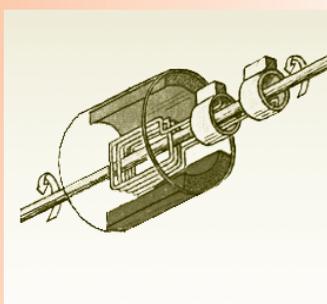
2.1. Проблемные ситуации

А. Выполни упражнения

В. Экспериментируй

С. Исследуй

*Суммативный тест*



## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Магнитное поле электрического тока

В VI классе вы изучали магниты, взаимодействие магнитных полюсов и свойство магнитов притягивать тела, содержащие железо. Все это принадлежит сфере *магнитных явлений*.

#### Историческая справка

О существовании магнитных и электрических явлений было известно с древних времен, примерно с VI века до н.э.

Прошло много столетий, прежде чем, в XVI веке, появилась первая научная работа, посвященная магнитным явлениям «*О магните, магнитных телах и большом магните – Земля*». Ее автор, **Вильям Гилберт (1544-1603)**, врач англий-



Вильям Гилберт

ского королевского двора, описал около 600 экспериментов, связанных с магнитными явлениями. Он продемонстрировал существование двух неразделимых полюсов магнита, изучил их взаимодействие, а также поведение магнитной стрелки вблизи намагниченной сферы. Таким образом, проведя аналогию с поведением магнитной стрелки компаса относительно полюсов Земли, Вильям Гилберт продемонстрировал, что наша планета является огромным магнитом.

Каково же происхождение магнитного поля? Каковы его источники? Ответить на эти вопросы можно опытным путем.

#### Экспериментируй

- Намотайте на стальной гвоздь длиной 10-15 см 50-60 витков изолированной медной проволоки диаметром  $\approx 1$  мм.

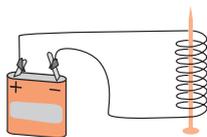


Рис. 1

- Подсоедините концы проволоки к батарее 4,5 В (рис. 1).
- Поднесите к одному из концов гвоздя небольшие железные предметы (гвозди, скрепки и т.д.). Что наблюдаете?

Под действием электрического тока гвоздь получил способность притягивать железные предметы. Это свойство он сохраняет даже некоторое время спустя после отключения тока.

В следующем эксперименте мы исследуем действие металлического проводника с током на магнитную стрелку.

#### Практическая деятельность

**Необходимые приборы и материалы:** источник постоянного электрического тока, прямолинейный проводник с большим поперечным сечением, переключатель, магнитная стрелка на вертикальной подставке, реостат.

### Порядок выполнения работы:

1. Смонтируйте электрическую цепь, представленную на рис. 2, и проверьте ее работу.
2. Поставьте магнитную стрелку рядом с электропроводником.
  - В начале эксперимента электрическая цепь разомкнута.
  - Магнитная стрелка ориентирована в направлении север-юг.
3. Замкните с помощью переключателя электрическую цепь.
  - По проводнику течет электрический ток.
  - Что происходит в этом случае с магнитной стрелкой?
4. Повторите эксперимент, изменив направление электрического тока.  
Что вы наблюдаете?

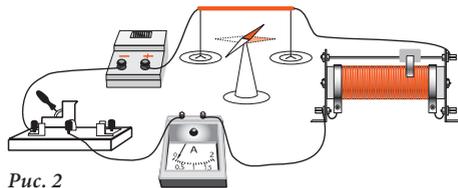


Рис. 2

**Запомни!** Прямолинейный проводник, по которому проходит электрический ток, действует на магнитную стрелку. Направление этого действия изменяется вместе с изменением направления электрического тока в проводнике.

**Определение:** Форма существования материи, которая проявляет себя воздействием на магнитную стрелку, называется **магнитным полем**.

Таким образом, вокруг проводника с током всегда существует магнитное поле. Поскольку электрический ток – это упорядоченное движение заряженных частиц, источниками магнитного поля являются движущиеся электрически заряженные частицы.

Существование магнитного поля вокруг проводника с током является **магнитным действием** электрического тока. Впервые это действие выявлено датским ученым Хансом Кристианом Эрстедом, который и считается автором его открытия.

### Историческая справка



Ханс Кристиан Эрстед

**Ханс Кристиан Эрстед (1777-1851)** родился в Дании в семье фармацевта. Он учился в Копенгагенском университете и в возрасте 20 лет получил диплом фармацевта. В возрасте 22 лет он становится доктором философии, а в 29 лет – профессором Копенгагенского университета. Эксперимент, который подтверждал существование магнитного поля вокруг проводника с электрическим током, был описан им в трактате «Опыты относительно действия электрического тока на магнитную стрелку».

Другой эксперимент, который подтверждает существование магнитного поля вокруг проводника с током, выполняется с помощью железных опилок. Намагничиваясь в магнитном поле, они ведут себя как магнитные стрелки.

**Практическая деятельность**

1. Смонтируйте электрическую цепь, изображенную на рис. 3. Прямолинейный проводник вертикально проходит через пластину из органического стекла или картона.
  2. Равномерно насыпьте вокруг вертикального проводника железные опилки.
  3. Замкните электрическую цепь и слегка постучите пальцем по пластине. Как располагаются железные опилки?
  4. Установите 3-4 магнитные стрелки на пластину в различных точках вокруг проводника. Что происходит с положением магнитных стрелок?
  5. Повторите этот эксперимент, изменив только направление электрического тока, проходящего через проводник. Что происходит в этом случае с железными опилками? А с магнитными стрелками?
- Сформулируйте выводы.



Рис. 3

**Определение:**

Линии, вдоль которых направлены железные опилки в магнитном поле, называются **силовыми линиями магнитного поля**.

Линии магнитного поля представляют собой замкнутые кривые линии, расположенные вокруг источника тока, создающего магнитное поле. Эти линии имеют определенное **направление**. Оно зависит от направления электрического тока, создающего магнитное поле.

Железные опилки наглядно показывают конфигурацию силовых линий магнитного поля. Полученное изображение называется **спектром магнитного поля**.

**Запомни!**

**Силовые линии магнитного поля**, образующиеся вокруг прямолинейного проводника с электрическим током, имеют форму концентрических кругов с центром в проводнике. **Направление** линий магнитного поля в определенной точке пространства указывается северным полюсом магнитной стрелки, находящейся в этой точке.

Направление силовых линий магнитного поля относительно направления электрического тока может быть установлено и без помощи магнитной стрелки. Для этого используется **правило буравчика**.

**Запомни!**

Если буравчик, расположенный вдоль проводника, ввинчивая, продвигать **по направлению тока** в проводнике, то направление движения его рукоятки укажет **направление силовых линий магнитного поля** (рис. 4).

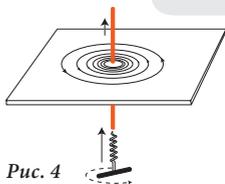


Рис. 4

Направление линий магнитного поля можно определить и с помощью **правила правой руки** (рис. 5).



Рис. 5

Для получения более мощного магнитного поля обматывают проводом каркас цилиндрической или любой другой формы.

**Определения:** Провод, намотанный на каркас цилиндрической (или какой-либо другой) формы, называется **катушкой**. Катушка, состоящая только из одного слоя витков, называется **соленоидом**.

### Практическая деятельность

1. Проведите эксперимент, представленный на рис. 2, заменив прямолинейный проводник соленоидом (рис. 6).
  - Исследуйте магнитное поле соленоида с помощью магнитной стрелки, помещая ее в разных местах вблизи него.
  - Наблюдайте за поведением магнитной стрелки и анализируйте его.
2. Повторите эксперимент, изменив только направление электрического тока в соленоиде. Проанализируйте поведение магнитной стрелки в этом случае.
3. Сравните поведение магнитной стрелки в двух проведенных экспериментах:
  - с прямолинейным проводником;
  - с соленоидом.

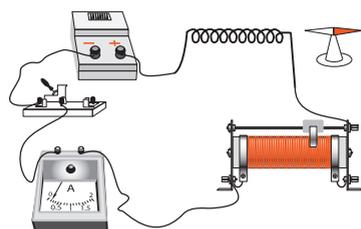


Рис. 6

**Запомни!** Соленоид, по которому проходит электрический ток, ведет себя как магнит. **Магнитные полюса** соленоида меняются одновременно с изменением направления электрического тока в нем.

В соленоиде каждый виток создает магнитное поле. Спектр магнитного поля одного витка (кругового проводника) представлен на рис. 7. Внутри каждого витка силовые линии магнитного поля имеют одинаковое направление. Значит, магнитное поле проводника круговой формы мощнее, чем поле прямолинейного проводника.

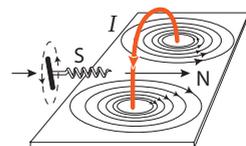


Рис. 7

Магнитное поле соленоида создается магнитными полями всех витков спирали. Таким образом, его магнитное поле **увеличивается** с увеличением числа витков (рис. 8).

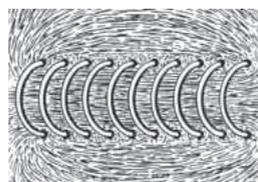


Рис. 8

**Определение:** Физическая величина, которая характеризует магнитное поле с точки зрения интенсивности его действия в данной среде, называется **магнитной индукцией**.

Магнитная индукция обозначается буквой  $B$  и является вектором, направленным по касательной к силовой линии магнитного поля в любой ее точке (рис. 9).

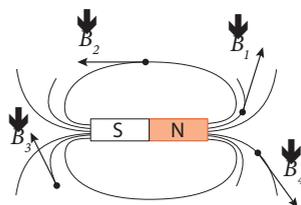


Рис. 9

**Новые физические понятия**

- магнитное действие электрического тока;
- силовые линии магнитного поля;
- спектр магнитного поля;
- правило буравчика;
- катушка;
- соленоид;
- магнитная индукция.

**Проверь свои знания**

1. Что представляет собой магнитное поле?
2. Какие источники магнитного поля вам известны?
3. Каким образом можно представить график магнитного поля?
4. Сформулируйте правило буравчика.
5. Чем схожи и чем отличаются магнитные поля, образуемые прямолинейным и круговым электрическими токами?
6. Проводник имеет форму, представленную на рис. 10. Петля, которую он образует, находится в горизонтальной плоскости. Нарисуйте в тетради линии магнитного поля этой петли. Направление электрического тока указано на рисунке.
7. Нарисуйте в тетради линии магнитного поля проводника, имеющего форму цифр восемь (рис. 11).
8. По соленоиду проходит электрический ток (рис. 12). Определите полюса соленоида.
9. Определите направление электрического тока в соленоиде и полюса источника электрического тока (рис. 13), если в нижней части соленоида находится северный полюс.
10. Витки соленоида  $A$  (рис. 14) намотаны по направлению часовой стрелки, а соленоида  $B$  — против часовой стрелки. Определите полюса каждого соленоида.
11. Какое направление имеет электрический ток в соленоиде, представленном на рис. 15?
12. Определите полюса соленоида (рис. 16), если электрический ток имеет указанное направление.



Рис. 10



Рис. 11

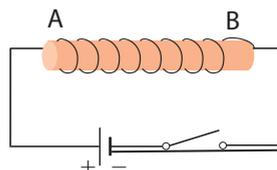


Рис. 12

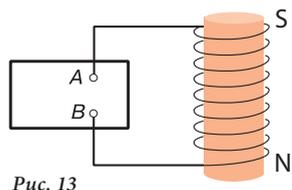


Рис. 13

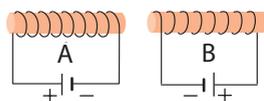


Рис. 14

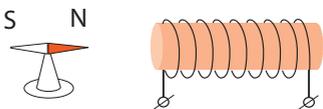


Рис. 15

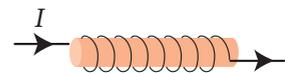


Рис. 16

## 1.2. Электромагнитная сила

**Информация** > Открытие Х.-К. Эрстедом магнитного действия электрического тока пробудило интерес многих ученых к исследованию магнитных взаимодействий. Через некоторое время, в начале 20-х г. XIX века, было установлено, что два проводника с постоянным электрическим током могут взаимодействовать друг с другом магнитными полями, аналогично двум постоянным магнитам.

Постоянный магнит также воздействует с определенной силой на находящийся в нем проводник с током. От каких же физических величин зависит эта сила?

Далее проведем опыт для выявления этих физических величин.

**Практическая деятельность** > **Необходимые приборы и материалы:** прямолинейный проводник, подковообразный магнит, источник постоянного электрического тока, выключатель, штатив, реостат, соединительные провода.

**Порядок выполнения работы:**

1. Соберите электрическую цепь, показанную на рис. 1.
  - С помощью выключателя замкните электрическую цепь.
  - Опишите, что происходит с прямолинейным проводником.
  - Сформулируйте вывод.

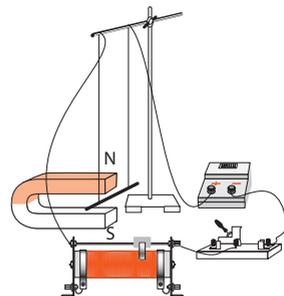


Рис. 1

**Определение:** > Сила, действующая в магнитном поле на проводник с электрическим током, называется **электромагнитной силой**.

2. Повторите эксперимент, изменив только **направление** электрического тока в проводнике. После наблюдения опишите, что происходит в этом случае с прямолинейным проводником.
3. Измените **направление** линий магнитного поля постоянного магнита. Опишите, что произошло при этом с прямолинейным проводником.

**Запомни!** > **Направление** электромагнитной силы зависит от **направления электрического тока** в проводнике и от **направления линий магнитного поля**, в котором находится проводник.

Английский физик Джон Флеминг установил простое правило для определения направления электромагнитной силы, называемое **правилом левой руки**.

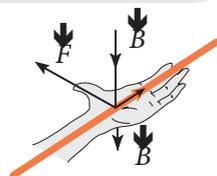


Рис. 2

**Запомни!**

Левая рука расположена так, что четыре ее пальца указывают направление тока, а линии магнитного поля как бы входят перпендикулярно в ладонь. В этом случае **большой палец, отведенный в сторону под прямым углом, указывает направление электромагнитной силы.**

**Практическая деятельность**

**Изучение электромагнитной силы**

**Цель:** исследование зависимости модуля электромагнитной силы от следующих физических величин:

- а) – силы тока ( $I$ ), проходящего через проводник;
- б) – длины проводника ( $l$ ), находящегося в магнитном поле;
- в) – индукции магнитного поля ( $B$ ), в котором находится проводник.

**Необходимые приборы и материалы:** прямолинейный проводник, три одинаковых подковообразных магнита, источник постоянного электрического тока, выключатель, штатив, реостат, амперметр, соединительные провода.

**Порядок выполнения работы:**

1. Соберите электрическую цепь, представленную на рис. 1.
2. Исследуйте зависимость электромагнитной силы, изменяя по очереди одну из указанных выше физических величин.
3. Используйте дополнительную информацию, приведенную в таблице.
4. Проанализируйте исследованное в каждом случае и сформулируйте соответствующие выводы.

а) $\frac{B_1 = B_2; l_1 = l_2}{I_1 < I_2}$ $F_1 ? F_2$	б) $\frac{B_1 = B_2; I_1 = I_2}{l_1 < l_2}$ $F_1 ? F_2$	в) $\frac{I_1 = I_2; l_1 = l_2}{B_1 < B_2}$ $F_1 ? F_2$
--	--	--

**Запомни!**

**Электромагнитная сила, с которой действует однородное магнитное поле на проводник с электрическим током, прямо пропорциональна:**

- **силе тока ( $I$ )**, проходящего через проводник;
- **длине участка проводника ( $l$ )**, находящегося в магнитном поле;
- **индукции магнитного поля ( $B$ )**, в котором находится проводник.

Математическое выражение этой зависимости записывается следующим образом:

$$F \sim B \cdot I \cdot l.$$

Экспериментально доказано, что в случае, когда линии магнитного поля перпендикулярны проводнику:

$$F = B \cdot I \cdot l \quad (1).$$

Из выражения (1) можно найти магнитную индукцию  $B$ :

$$B = \frac{F}{I \cdot l} \quad (2).$$

На основе отношения (2) можем выразить единицы измерения **магнитной индукции** в СИ:

$$[B]_{\text{СИ}} = \frac{[F]_{\text{СИ}}}{[I]_{\text{СИ}} \cdot [l]_{\text{СИ}}} = \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = \text{Тл}. \quad 1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

Единица измерения магнитной индукции в СИ называется *тесла* (Тл), в честь знаменитого электротехника *Никола Тесла (1856-1943)*.

Узнай больше! >

Электромагнитная сила также называется *силой Ампера*.

Знаменитый французский физик Андре Мари Ампер первым обнаружил магнитное взаимодействие между двумя проводниками с электрическим током и установил закон этого взаимодействия.

Новые физические понятия >

- **электромагнитная сила (сила Ампера);**
- **правило левой руки;**
- **тесла.**

Проверь свои знания >

1. Электромагнитная сила направлена по отношению к току в проводнике и к вектору магнитной индукции поля  $\vec{B}$  таким образом (выберите правильный ответ):

- а) параллельна вектору  $\vec{B}$  и перпендикулярна проводнику;
- б) совпадает с направлением вектора  $\vec{B}$  и параллельна проводнику;
- в) перпендикулярна плоскости, в которой находятся проводник и вектор  $\vec{B}$ .

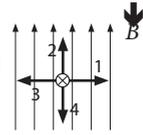


Рис. 3

2. На рис. 3 представлен проводник с током в магнитном поле\*. Какой из векторов 1-4 соответствует вектору электромагнитной силы?

3. На рис. 4 представлены четыре схемы проводника с током, находящегося между магнитными полюсами. Определите направление электромагнитной силы для каждого случая, считая магнитное поле однородным.

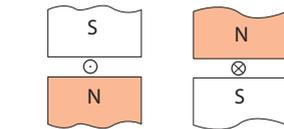
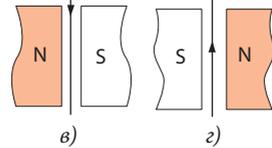


Рис. 4 а) б)

4. Круговой проводник, по которому проходит электрический ток, висит на двух тонких нитях (рис. 5). Если к нему приблизим северный полюс магнита, проводник притянется к нему. Определите направление электрического тока в проводнике.



в) г)

5. Как изменится электромагнитная сила, если магнитная индукция поля уменьшится в два раза, а сила тока увеличится в три раза?

6. С какой силой действует постоянный магнит с индукцией 20 мТл на проводник с электрическим током силой 5 А, если длина участка проводника, находящегося в магнитном поле, 5 см?\*\*\*

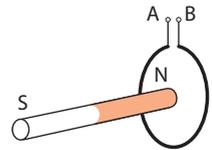


Рис. 5

7. Между полюсами подковообразного магнита находится часть проводника с электрическим током силой 15 А. Сила, с которой магнитное поле действует на него, равна 10 Н. Определите индукцию магнитного поля  $B$ , если длина этой части проводника составляет 20 см.

\* – В проводниках, обозначенных  $\odot$ , электрический ток направлен к нам, перпендикулярно листу. Знак  $\otimes$  означает, что электрический ток направлен от нас, перпендикулярно листу.

\*\* – В этой и последующих задачах проводник перпендикулярен линиям магнитного поля.

## 1.3. Электромагниты. Электрические моторы

Электромагнитные взаимодействия нашли широкое использование в различных устройствах, аппаратах, машинах и промышленном оборудовании. Далее изучим некоторые из них: электромагниты и электрические моторы.

### А. Электромагниты и их применение

#### Информация

Из предыдущего урока вы узнали о характеристиках магнитного поля, созданного прямолинейным проводником или катушкой с током. Вы убедились, что магнитное поле катушки с током гораздо мощнее, чем магнитное поле прямолинейного проводника, благодаря большему значению физической величины, характеризующей интенсивность его действия. Значения этой величины, называемой *магнитной индукцией* ( $B$ ), увеличиваются с увеличением количества витков в катушке.

Рассмотрим практическое использование катушки с током.

#### Практическая деятельность

**Необходимые приборы и материалы:** источник постоянного электрического тока, катушка, динамометр, железный диск с крючком, железный стержень (сердечник), выключатель, штатив, реостат, амперметр.

#### Порядок выполнения работы:

1. Соберите электрическую цепь, представленную на рис. 1.
  - С помощью выключателя замкните электрическую цепь. При этом сердечник в катушку еще не вставлен.
  - Подвесите диск к динамометру.
  - Найдите такое положение диска по отношению к полюсу катушки, когда ее сила притяжения, указанная динамометром, минимальна.
2. Повторите эксперимент, вставив в катушку сердечник.
  - Как изменилась сила притяжения?

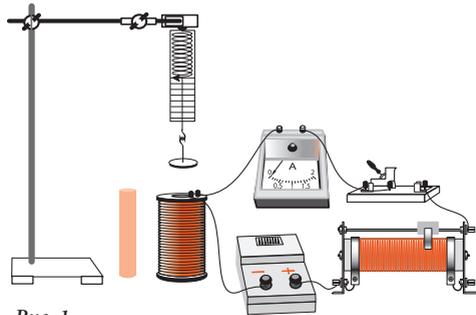


Рис. 1

**Вывод:** Сила притяжения катушки с током со вставленным в нее сердечником больше, чем катушки без сердечника.

#### Определение:

Катушка, подключенная к источнику тока, в совокупности с сердечником, вставленным в нее, называется **электромагнитом**.

### Историческая справка

- В сентябре 1820 г. французский физик **Доминик Франсуа Араго (1786-1853)** экспериментально установил, что соленоид притягивает железные опилки сильнее, чем прямолинейный проводник. Желая усилить воздействие электрического тока на железные опилки, Араго вставил в соленоид железный стержень (прообраз сердечника), изобретая, таким образом, **электромагнит**.
- Первый электромагнит с железным сердечником в форме подковы был создан в 1825 г. английским ученым **Уильямом Стердженем (1783-1850)**. Этот электромагнит имел длину 30 см и диаметр каркаса 1,3 см. На каркас был намотан один слой медной изолированной проволоки. Электромагнит весил 200 г и был способен удерживать на весу тело массой  $\approx 3,6$  кг.
- В том же 1825 году **Джеймс Джоуль** увеличил силу притяжения электромагнита до 200 Н.
- В 1831 г. американский ученый **Джозеф Генри (1787-1878)** создал электромагнит, который поднимал тело массой  $\approx 1000$  кг.
- Электромагниты, созданные в этот период, имели одинаковую конструкцию: подковообразный сердечник с намотанной на него изолированной проволокой.
- Коренное изменение в конструкции электромагнита произошло в 30-х годах XX века.

### Экспериментируй

#### Изготовление электромагнитов

**Необходимые приборы и материалы:** изолированная медная проволока диаметром 0,2-0,4 мм; два картонных цилиндра длиной 5,0 см и диаметром 0,8-1,0 см; железный сердечник длиной 6,0 см; источник постоянного электрического тока.

#### Порядок выполнения работы:

1. Разработайте план изготовления электромагнита.
2. Соберите два электромагнита, одинаковые по размеру, но с разным количеством витков  $n$ :  $n_1 = 50$ ;  $n_2 = 100$ .
3. Смонтируйте электрическую цепь и проверьте работу электромагнитов.

#### Изучение силы притяжения электромагнита

**Цель:** исследование зависимости силы притяжения электромагнита от:

- а) количества витков на катушке;
- б) силы электрического тока;
- в) формы железного сердечника.

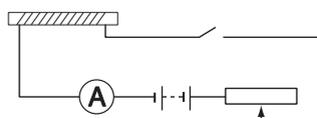
**Необходимые приборы и материалы:** два электромагнита собственного изготовления (с количеством витков  $n_1 = 50$ ;  $n_2 = 100$ ), магнитная стрелка на вертикальной подставке, источник тока, реостат, выключатель, амперметр.

#### Порядок выполнения работы:

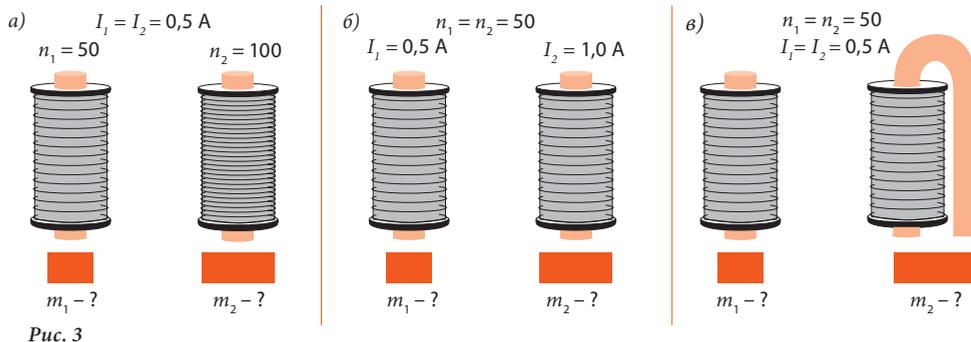
1. Смонтируйте электрическую цепь, представленную на рис. 2.
2. Исследуйте зависимость силы притяжения в трех случаях, описанных выше, используя собранную цепь и дополнительную информацию (рис. 3).



Рис. 2



3. Сравните  $m_1$  и  $m_2$  для каждого случая и сформулируйте соответствующие выводы.



**Запомни!**

Сила притяжения электромагнита **увеличивается**, если:

- катушка электромагнита имеет больше витков (т.е. длина проводника становится больше);
- сила тока в витках катушки увеличивается;
- притягиваемый железный предмет перекрывает оба полюса сердечника.

Электромагниты имеют разнообразное практическое применение.

Они являются главным элементом в таких устройствах и приборах, как электромагнитное реле, электрический звонок, телефон, телеграф, электромагнитный кран и многих других.

## В. Электрические моторы

**Информация**

Электрический мотор – это устройство, в котором электрическая энергия превращается в энергию механическую.

Для того чтобы понять конструкцию и принцип действия электрического мотора необходимо применить основные знания о магнитном поле и электромагнитных взаимодействиях.

Из предыдущего урока вы знаете, что катушка с током ведет себя как постоянный магнит, полюса которого зависят от направления тока. При изменении направления тока в витках катушки магнитные полюса меняются местами.

Также вы узнали, что сила электромагнитных взаимодействий катушки с током с другим магнитом зависит от числа витков катушки, силы тока и от других факторов.

Чтобы понять, как действует электрический мотор, необходимо знать и другие особенности поведения катушки с током в магнитном поле.

Исследуем, как изменится положение катушки-рамки, находящейся в поле подковообразного магнита, при прохождении через нее электрического тока, в зависимости от его направления.

**Практическая  
деятельность**

**Необходимые приборы и материалы:** катушка-рамка, подковообразный постоянный магнит, источник тока, выключатель, штатив, реостат.

**Порядок выполнения работы:**

1. Соберите электрическую цепь, представленную на рис. 4.
  - Подключите катушку-рамку к источнику тока с помощью выключателя. Что происходит с катушкой?
2. Повторите эксперимент, установив рамку таким образом, чтобы ее плоскость располагалась перпендикулярно линиям магнитного поля.

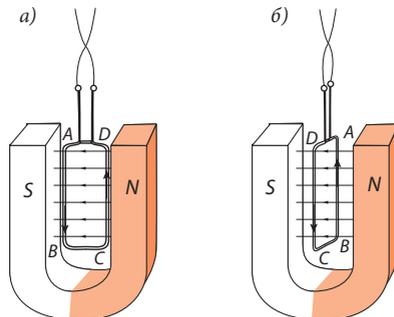


Рис. 4

- Как ведет себя рамка в этом случае?
  - Сформулируйте вывод.
- Выскажи свое мнение**
- Используя правило левой руки, определите направление электромагнитных сил, которые действуют на стороны  $AB$  и  $CD$  катушки, представленной на рис. 4.
  - Сравните направление этих сил с направлением вращения катушки-рамки.
  - Сравните направление силовых линий магнитных полей постоянного магнита и катушки-рамки.
  - Сформулируйте выводы.

**Запомни!**

Магнитное поле действует на рамку с током с **наибольшей силой**, если силовые линии магнитного поля рамки перпендикулярны силовым линиям магнитного поля постоянного магнита. Когда силовые линии магнитного поля рамки параллельны линиям поля постоянного магнита, рамка вращается только по инерции.

Вращение рамки с током в магнитном поле используется в работе электродвигателя.

**Что представляет собой электродвигатель?**

Схема работы электродвигателя представлена на рис. 5. Рамка, состоящая из десяти витков изолированной проволоки, закреплена на вертикальной оси. Под рамкой на той же оси закреплены два изолированных друг от друга металлических кольца, к которым крепятся концы рамки.

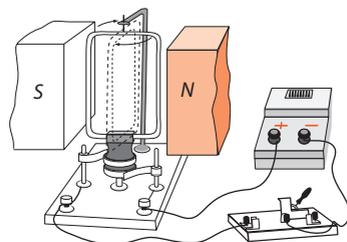


Рис. 5

Контакт между кольцами и проводами, которые соединяют рамку с источником тока, осуществляется через тонкие металлические планки, называемые **щетками**.

Если установить плоскость рамки параллельно линиям магнитного поля и замкнуть цепь, рамка повернется на  $90^\circ$ . Плоскость ее станет перпендикулярна линиям магнитного поля. Это положение рамка минует благодаря *инерции*. Если в этот момент изменить направление электрического тока, рамка продолжит вращение в том же направлении. Для того чтобы вращение было постоянным, надо снова изменить направление тока.

**Вывод:** *Вращение рамки с током в магнитном поле будет продолжаться, если периодически будет изменяться направление электрического тока при каждом повороте рамки на  $180^\circ$ .*

Для периодической смены полярности используется устройство, называемое **коллектором**. Самый простой коллектор состоит из двух полуколец, изолированных друг от друга, к которым по одному подсоединяются концы рамки (рис. 6).

Чтобы вращение было равномерным, **две рамки** устанавливаются перпендикулярно друг другу, а их концы соединяются соответственно с четырьмя четвертями кольца, изолированными друг от друга (рис. 6). Когда одна из рамок перпендикулярна линиям магнитного поля, другая располагается параллельно его линиям, то есть поле действует на эту рамку с наибольшей силой.

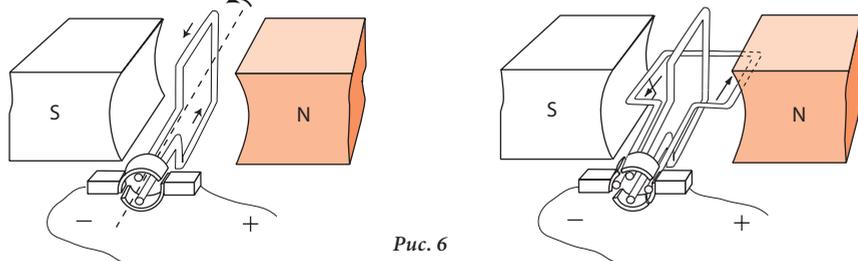
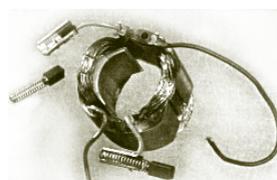


Рис. 6

В промышленных электродвигателях **катушка** состоит из большого количества витков, намотанных на стальной цилиндр, называемый **ротором**.

**Определения:** *Подвижная часть электродвигателя, состоящая из катушки и коллектора, закрепленных на оси вращения с помощью двух подшипников, называется **ротором**. Неподвижная часть электродвигателя, являющаяся постоянным магнитом, называется **статором**. Связь между электрическим двигателем и источником тока осуществляется с помощью двух щеток, называемых **коллекторными щетками**.*



Новые  
физические  
понятия

- электрический мотор (электродвигатель);
- электромагнит;
- катушка-рамка;
- щетки коллектора;
- ротор.
- железный сердечник;
- коллектор;
- статор;

Проверь  
свои знания

1. Сравните электромагнит и постоянный магнит. Чем они схожи и чем отличаются?

2. Как должен быть намотан медный изолированный проводник на железный цилиндр, чтобы при подключении его к источнику постоянного электрического тока на обоих концах цилиндра образовались одинаковые полюса (северный или южный)?

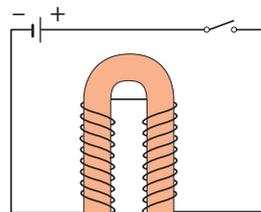


Рис. 7

3. Какие полюса образуются на концах электромагнита, представленного на рис. 7?

4. Определите полярность источников электрического тока, к которым подсоединены электромагниты, представленные на рис. 8.

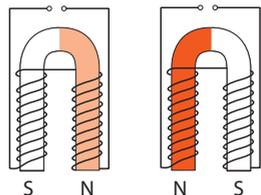


Рис. 8

5. Определите положительный полюс источника тока электрической цепи с рис. 9.

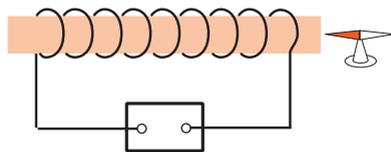


Рис. 9

6. Какова величина силы притяжения электромагнита, созданного Джоозефом Генри, если он поднимал тело массой 1000 кг?

7. Металлическая рамка с током расположена между полюсами подковообразного магнита таким образом, что его плоскость перпендикулярна линиям магнитного поля. Будет ли вращаться рамка? Нарисуйте её в тетради, указав направление электромагнитной силы. Объясните ответ.

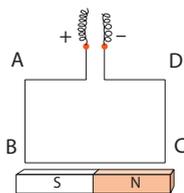


Рис. 10

8. Какое положение относительно магнитного стержня займет подвижная рамка ABCD (рис. 10), если по ней идет электрический ток?

9. Катушка-рамка амперметра находится между полюсами магнита. Катушка может вращаться вокруг оси вращения  $OO'$ . В каком направлении будет двигаться часть  $AB$  катушки-рамки, если электрический ток в ней имеет направление, указанное на рис. 11?

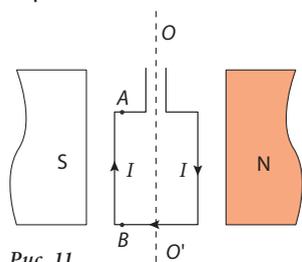


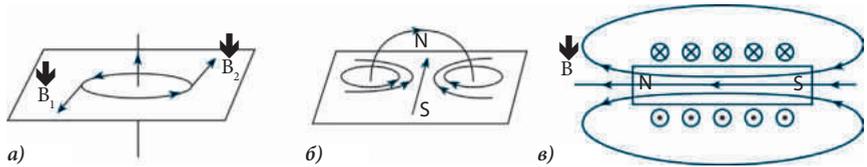
Рис. 11

# Обобщение

**Магнитное поле** – это форма существования материи, проявляющая себя действием на магнитную стрелку и на проводник с током.

Появление магнитного поля вокруг проводника с током представляет собой **магнитное действие электрического тока**, которое демонстрирует, что источником этого поля являются движущиеся заряженные частицы.

Магнитное поле обладает определенным геометрическим строением, которое можно увидеть с помощью железных опилок. Рисунок, в который выстраиваются железные опилки под действием магнитного поля, называется спектром. Линии спектра являются **силовыми линиями магнитного поля**. Рисунок линий зависит от формы проводника с током:



- а) магнитное поле прямолинейного проводника;
- б) магнитное поле кругового проводника;
- в) магнитное поле соленоида.

Линии магнитного поля являются **закрытыми линиями** с определенным направлением. Считается, что направление силовых линий магнитного поля указывает северный конец магнитной стрелки, расположенной по касательной к данной силовой линии в определенной точке. Направление магнитных линий зависит от направления тока в проводнике и может быть определено с помощью **правила буравчика**.

Сила действия магнитного поля характеризуется векторной физической величиной, называемой **магнитной индукцией** ( $\vec{B}$ ). Эта величина выражает силу, с которой магнитное поле действует на единицу длины прямолинейного проводника с силой тока 1 А, расположенного перпендикулярно линиям магнитного поля:  $B = \frac{F}{I \cdot l}$ . Единицей измерения магнитного поля является **тесла**.  $1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}$ .

Вектор магнитной индукции расположен по касательной к линиям поля в любой его точке.

Сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, находящийся в нем, называется **электромагнитной силой (силой Ампера)**. Направление электромагнитной силы зависит от направления тока в проводнике и от направления линий магнитного поля, в котором он находится. Это направление можно определить с помощью **правила левой руки**, а ее модуль в случае, если линии поля перпендикулярны проводнику, определяется выражением:  $F = B \cdot I \cdot l$ .

Проводник, намотанный на несущий каркас определенной формы, называется **катушкой**. Катушка, состоящая из одного слоя витков проводника на цилиндрическом каркасе, называется **соленоидом**. Магнитное

поле соленоида с током увеличивается вместе с увеличением количества витков и силы тока.

**Электромагнит** – это катушка с металлическим стрежнем (сердечником) внутри, подключенная к источнику электрического тока.

Сила, с которой электромагнит притягивает предметы, пропорциональна количеству витков в катушке и силе тока в проводнике. Она увеличивается, если предмет перекрывает оба конца сердечника катушки.



Электромагниты используются в различных приборах в качестве управляемых устройств с магнитным действием, а также в машинах и оборудовании, таких как электромагнитный кран.

Другая область применения электромагнитных взаимодействий – электродвигатели (электромоторы). В данной главе был рассмотрен только **электромотор для постоянного электрического тока**. Принцип его действия основывается на вращении катушки-рамки с током, зафиксированной на оси в магнитном поле постоянного магнита. Для обеспечения постоянного вращения рамки вокруг оси мотора, направление тока в катушке периодически меняется с помощью специальной детали – **коллектора**.

Конструктивно электромотор состоит из двух основных деталей: **ротора**, который соединяет катушку и коллектор, и **статора** – постоянного магнита.

Ротор соединяется с источником тока посредством **щеток коллектора**.

Электродвигатели для постоянного электрического тока широко используются в технике, например, в качестве вспомогательных моторов для запуска автомобильных двигателей внутреннего сгорания, в качестве тяговых двигателей в электрических видах транспорта (электропоездах, троллейбусах, трамваях), а также в различных бытовых приборах, детских игрушках и т.д.

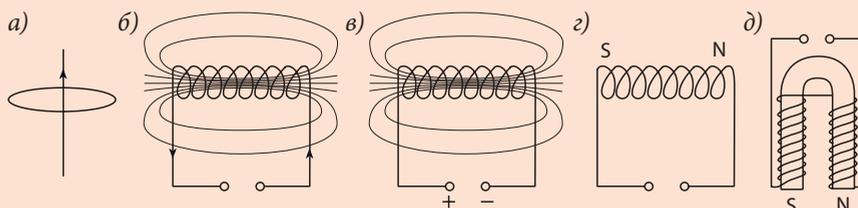


# ПРОВЕРЬ СЕБЯ

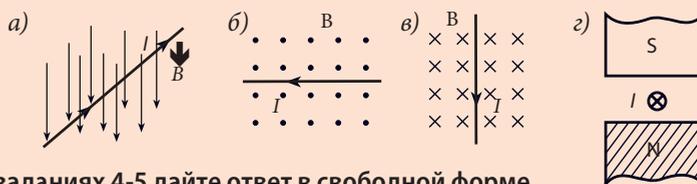
Определите уровень знаний, усвоенных вами при изучении данной главы, подсчитав количество баллов.

## I. В заданиях 1-3 дайте краткий ответ.

- Продолжите утверждения так, чтобы они были правильными: . . . по 1 б.
  - Вектор магнитной индукции расположен по касательной . . . . .
  - Магнитное поле проявляется действием . . . . .
  - Линии, вдоль которых направлены железные опилки, называются . . . . .
  - Катушка с сердечником с проходящим по ней током называется . . . . .
  - Электромагнитная сила – это сила, которая действует в магнитном поле на . . . . .
  - При периодической смене тока в катушке-рамке, находящейся между полюсами магнита, катушка . . . . .
- Укажите направление линий магнитной индукции в случаях а), б), в), представленных на рисунке и определите полярность источников тока на рисунках г) и д) . . . . . по 2 б.



- Определите направление электромагнитной силы в случаях, представленных на рисунках . . . . . по 2 б.



## II. В заданиях 4-5 дайте ответ в свободной форме.

- Анализируйте ситуации, используя изученные понятия:
  - Как изменится величина электромагнитной силы, если сила тока в проводнике уменьшится в два раза, а магнитная индукция увеличится в четыре раза? . . . . . 4 б.
  - Каким образом можно увеличить подъемную силу электромагнита? . . . . . 2 б.
  - Джеймс Джоуль сконструировал электромагнит с силой притяжения 200 Н. Какую массу он мог поднять? . . . . . 3 б.
- Напишите эссе объемом до 10 предложений о принципе действия электромотора для постоянного электрического тока, работающего на основе электромагнитных взаимодействий. . . . . 10 б.

## 2. Практическая часть

### 2.1. Проблемные ситуации

#### А. Выполни упражнения

1. Охарактеризуйте силовые линии магнитного поля.
2. Определите направление электрического тока в проводнике, если известен вектор магнитной индукции созданного поля (рис. 1).

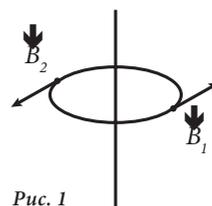


Рис. 1

3. Оба полюса соленоида «южные». Можно ли сделать оба полюса соленоида «северными»? Объясните ответ.

4. Определите направление электромагнитной силы, которая действует на проводник с током  $AB$  (рис. 2).

5. На двух зафиксированных проводниках находится еще один проводник, таким образом, что вместе с источником тока они составляют замкнутую цепь (рис. 3). Цепь находится в магнитном поле, вектор которого  $\vec{B}$  перпендикулярен рисунку. Определите направление тех компонентов, изображения которых отсутствуют.

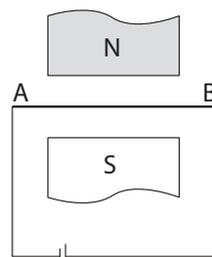


Рис. 2

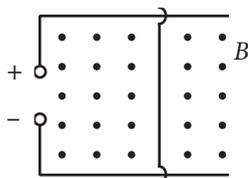
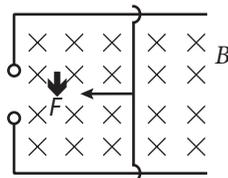
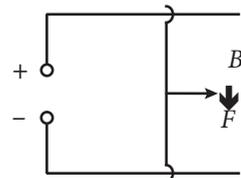


Рис. 3

а)



б)



в)

6. На магнитом-подковой подвешен проводник (рис. 4). Какое положение займет проводник, если по нему будет проходить ток? Представьте в тетради возможные случаи и объясните свой ответ.

7. Известно, что магнитная стрелка располагается своим северным полюсом к южному полюсу любого магнита. Как объяснить, что стрелка компаса указывает своим северным концом северный полюс Земли, которая тоже является магнитом?

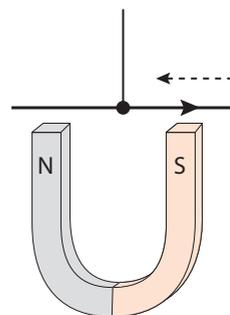


Рис. 4

8. Прямолинейный проводник с током, сила которого равна 2 А, находится в однородном магнитном поле с индукцией 5 мТл и линиями поля, перпендикулярными проводнику. Зная, что длина участка

цепи, находящегося в поле, равна 11 см, определите величину силы, с которой поле действует на проводник.

9. В однородном магнитном поле с индукцией 0,2 Тл находится проводник длиной 8 см, расположенный перпендикулярно линиям поля. Электромагнитная сила, действующая на проводник, равна 40 мН. Определите силу тока в проводнике.
10. Проводник с током, сила которого равна 4,5 А находится в однородном магнитном поле с индукцией 0,8 Тл, линии которого перпендикулярны проводнику. Зная, что величина силы Ампера равна 0,18 Н, найдите длину проводника.
11. Найдите индукцию однородного магнитного поля, которое действует с силой 0,2 Н на проводник с током силой 2,5 А. Известно, что длина активной части проводника равна 20 см, а поле и проводник взаимно перпендикулярны.
12. По горизонтальному проводнику длиной 10 см и массой 4 г проходит электрический ток силой 5 А. Найдите величину магнитной индукции поля, в который должен быть помещен этот проводник, чтобы его сила тяжести сравнялась с силой Ампера. (Здесь и далее считать  $g = 10 \text{ Н/кг}$ .)
13. Концы прямолинейного проводника длиной 190 см и массой 50 г, находящегося в магнитном поле магнита-подковы, закреплены к двум динамометрам высокой точности. Насколько изменятся показания динамометров, если в проводнике установится сила тока 5 А, а индукция магнитного поля будет равна 0,5 Тл. Проверьте два крайних случая.
14. Проводник массой 10 г и длиной 10 см, находящийся на изолированной горизонтальной поверхности, подключен к току с силой в 2 А. Проводник находится в однородном магнитном поле с линиями, перпендикулярными ему. Определите минимальную индукцию магнитного поля, при которой проводник не давит на горизонтальную поверхность.
15. Прямолинейный алюминиевый проводник с током силой 0,9 А находится на горизонтальной изолированной поверхности в однородном магнитном поле с индукцией 0,3 Тл. Зная, что линии поля перпендикулярны проводнику, определите площадь его поперечного сечения, при которой он не будет оказывать давление на горизонтальную поверхность. Определите направление линий поля и силы Ампера.
16. Упругий линейный проводник АВ подвешен в вертикальном положении вблизи линейного магнита. Если проводник подключить к току, он обмотает магнит (рис. 5). Определите направление тока в проводнике.

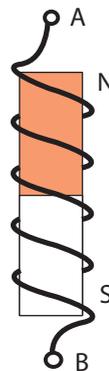


Рис. 5

17. Соленоид подвешен двумя тонкими проводниками рядом с постоянным магнитом (рис. 6). Что произойдет с соленоидом, если через него пройдет электрический ток?

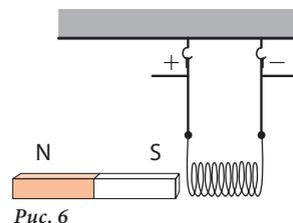


Рис. 6

18. Два соленоида подвешены на тонких нитях (рис. 7). Что произойдет с ними, если по ним пустить постоянный электрический ток?

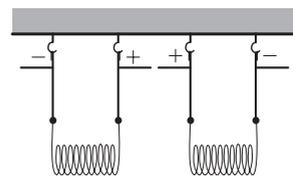


Рис. 7

19. Два соленоида с током притягиваются друг к другу (рис. 8). Определите направление тока в них. Какие варианты возможны?

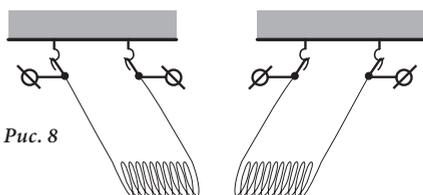
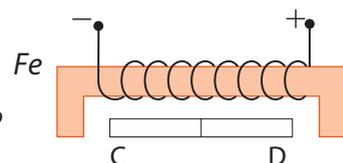


Рис. 8

Рис. 9



20. Установите магнитные полюса никелевого стержня CD с рис. 9.

21. Какое действие производит постоянный электрический ток, проходящий по проводнику в виде пружины с рис. 10?

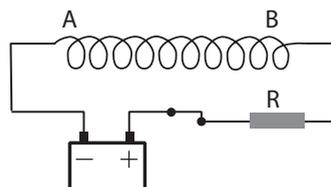


Рис. 10

22. Электромагнит обеспечивает силу притяжения 1 кН. Определите максимальную массу, которую может удерживать этот электромагнит.

23. Электромагнитный кран может поднять груду металла массой 3 т. Найдите максимальную силу притяжения этого крана.

24. Каким будет положение равновесия катушки-рамки с постоянным электрическим током, находящейся между полюсами магнита-подковы (рис. 11)?

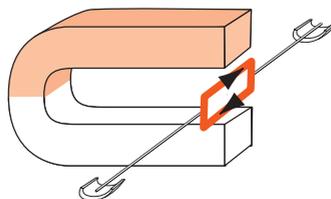


Рис. 11

## В. Экспериментировать

1. Допустим, что у вас в распоряжении есть источник постоянного электрического тока, полюса которого не отмечены знаками «+» и «-». Предложите способ определить полярность источника тока и

укажите необходимые для этого приборы и материалы. Проверьте свой способ опытным путем.

2. Предложите схему электрической цепи с реле, при которой в случае замыкания цепи одна лампа загоралась, а другая – гасла. Осуществите ваш проект.
3. Изготовьте электромагнит и установите способ определения его полюсов.
4. Изготовьте электромагнит, используя железный гвоздь и медную проволоку с изоляцией. Определите его максимальную силу действия. Проверьте способность к работе этого магнита.
5. Соберите электрический двигатель, используя модель разобранного электродвигателя, и проверьте его функциональность, используя провода, источник тока и выключатель.
6. Предложите схему устройства с электромагнитом, с помощью которого можно поднять мелкие железные детали со дна сосуда с водой, не замочив руки. Изготовьте самый простой вариант такого устройства и проверьте его действие.

## С. Исследуй

1. Эксперименты показывают, что вне кругового проводника с током магнитная индукция  $\downarrow B$  меньше, чем внутри него. Объясните это явление, обозначив на рисунке силовые линии поля, направление вектора  $\downarrow B$  внутри и вне кругового проводника.
2. Предложите и опишите метод по определению численной величины силы притяжения электромагнита.
3. Подготовьте сообщение на тему «Устройство и принцип действия реле, электрозвонка и телефона».
4. Объясните, какое действие на вращение ротора электрического двигателя оказывает одновременное изменение электрической полярности катушки ротора и направления магнитного поля статора.
5. Объясните, каким образом следует наматывать изолированный медный проводник на цилиндрический каркас катушки, чтобы не создавалось магнитное поле при прохождении по ней электрического тока.
6. Разработайте сообщение о мерах предосторожности, которые должны быть соблюдены во время работы электродвигателя.

# СУММАТИВНЫЙ ТЕСТ

Данный тест предназначен для определения уровня знаний (в баллах), приобретенных вами при изучении этой главы.

## I. На задания 1–5 представьте полное решение задач.

1. Прямолинейный проводник длиной 12 см находится в однородном магнитном поле. Сила тока в проводнике равна 4 А, а максимальная сила, с которой магнитное поле действует на проводник, равна 0,24 Н. Найдите модуль магнитной индукции поля ..... 3 б.
2. Электромагнит может удерживать тяжесть до 1,5 кН. Определите максимальную массу, которую можно поднять с помощью этого электромагнита ( $g = 10 \text{ Н/кг}$ ). ..... 3 б.
3. Во сколько раз изменится электромагнитная сила, которая действует на проводник с током, находящийся в магнитном поле, если магнитная индукция увеличится в четыре раза, а сила тока в проводнике уменьшится в два раза? ..... 4 б.
4. По проводнику массой 3 г и длиной 20 см, находящемуся на горизонтальной изолированной поверхности, проходит ток с силой в 6 А. Проводник находится в однородном магнитном поле с силовыми линиями, перпендикулярными проводнику, и не оказывает действия на горизонтальную поверхность. Определите:
  - а) направление линий магнитного поля ..... 1 б.
  - б) направление электромагнитной силы ..... 2 б.
  - в) минимальную величину магнитной индукции ..... 5 б.
5. Прямолинейный медный проводник ( $\rho_{\text{Cu}} = 8900 \text{ кг/м}^3$ ) находится в однородном магнитном поле с индукцией, равной 178 мТл. Сила тока в проводнике равна 1 А. Зная, что линии поля перпендикулярны проводнику, а проводник не действует на нити, на которые он подвешен в магнитном поле, определите:
  - а) направление силовых линий магнитного поля ..... 1 б.
  - б) направление силы Ампера ..... 2 б.
  - в) площадь поперечного сечения проводника ..... 5 б.

## II. В задании 6 дайте ответ в свободной форме.

6. Опишите порядок работы при изготовлении электромагнита и способ определения его силы притяжения. Перечислите необходимые приборы и материалы ..... 10 б.

Таблица плотности некоторых веществ, кг/м<sup>3</sup> (при 20°C)

Твердые вещества	
Алюминий – 2 700	Платина – 21 460
Золото – 19 320	Свинец – 11 300
Латунь – 8 300 - 8 700	Серебро – 10 500
Медь – 8 900	Сталь – 7 800
Никель – 8 900	Цинк – 7 100
Олово – 7 300	

Таблица удельного сопротивления некоторых проводников, мкОм · м (при 20°C)

Проводники	
Алюминий – 0,028	Никель – 0,073
Вольфрам – 0,055	Нихром – 1,1
Графит – 13	Олово – 0,12
Железо – 0,1	Платина – 0,1
Золото – 0,024	Ртуть – 0,96
Константан - 0,5	Свинец – 0,21
Латунь – 0,07 - 0,08	Серебро – 0,016
Магний – 0,045	Сталь – 0,1 - 0,14
Медь – 0,017	Цинк – 0,061
Никелин – 0,4	Чугун – 0,5 - 0,8

## Основные понятия, изученные в курсе физики VIII класса

### Глава 1. Механические колебания и волны

**А**

**Амплитуда колебаний** > Максимальное отклонение колеблющегося тела от положения равновесия.

**Б**

**Болевой порог** > Верхний предел интенсивности звука, который может выдержать человеческое ухо.

**В**

**Вынужденные колебания** > Колебания, которые происходят под действием внешней периодически изменяющейся силы.

**Высота звука** > Качественная характеристика звука, пропорциональная частоте.

**Г**

**Гравитационный (математический) маятник** > Механическая колеблющаяся система, состоящая из длинной невесомой и нерастяжимой нити и тяжелого точкообразного тела, связанных между собой.

**Громкость звука** > Характеристика звука, пропорциональная интенсивности звуковой волны.

**Д**

**Децибел** > Единица измерения уровня звуковой интенсивности.

**Длина волны** > Расстояние, которое волна проходит за один период.

**З**

**Звуковые волны (звук)** > Волны, которые вызывают звуковые ощущения.

**И**

**Интенсивность звука** > Физическая величина, пропорциональная амплитуде колебаний звуковой волны.

**Инфразвук** > Звук с частотой меньше 16 Гц.

**Источники звука** > Тела, производящие звук.

**М**

**Маятник** > Тело или физическая система, которая может колебаться.

**Механическая волна** > Процесс распространения колебаний в пространстве.

**Механические колебания** > Движение тела, которое повторяется точно или почти точно через равные промежутки времени и происходит симметрично относительно ее положения равновесия.

#### П

**Период колебаний** > Промежуток времени, в течение которого совершается одно полное колебание.

**Пружинный (упругий) маятник** > Механическая колеблющаяся система, состоящая из эластичной невесомой пружины и тяжелого точкообразного тела, связанных между собой.

#### С

**Свободные колебания** > Колебания, которые происходят без действия внешней периодически изменяющейся силы.

**Скорость волны** > Скорость распространения волны в данной среде.

**Слуховой порог** > Минимальная интенсивность звука, которую воспринимает человеческое ухо.

#### У

**Угасающие колебания** > Колебания, амплитуда которых со временем уменьшается.

**Ультразвук** > Звук с частотой больше 20 000 Гц.

**Уровень звукового давления (уровень звука)** > Величина, которая характеризует громкость звука относительно минимальной звуковой интенсивности, воспринимаемой человеческим ухом.

#### Ч

**Частота колебаний** > Физическая величина, равная числу колебаний, совершенных в единицу времени.

#### Ш

**Шум** > Сильные звуки, несогласованные по частотам и вредные для человека.

## Глава 2. Тепловые явления

#### А

**Адиабатический процесс** > Процесс, происходящий в изолированной термодинамической системе (без теплового обмена с окружающей средой).

#### В

**Внутренняя энергия тела** > Энергия движения и взаимодействия частиц вещества, из которого состоит тело.

## И

**Испарение** > Процесс парообразования, происходящий со свободной поверхности жидкости.

## К

**Кипение** > Процесс парообразования, происходящий из всего объема жидкости.

**Количество теплоты** > Энергия, отданная или полученная термодинамической системой в процессе теплообмена.

**Конвекция** > Процесс передачи тепла с помощью потоков, формирующихся в неравномерно нагретых жидкостях или газах.

**Конденсация** > Процесс перехода вещества из газообразного состояния в жидкое.

**КПД теплового двигателя** > Отношение между работой, совершенной газом, и количеством теплоты, полученной при горении топлива.

## О

**Отвердевание (кристаллизация)** > Процесс перехода вещества из жидкого состояния в твердое.

## П

**Парниковый эффект** > Природное явление, которое состоит в уменьшении тепловых потерь Земли, благодаря чему происходит глобальное потепление атмосферы.

**Парообразование** > Процесс перехода вещества из жидкого состояния в паробразное.

**Плавление** > Процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое.

## Т

**Температура** > Физическая величина, характеризующая степень нагревания тела или системы тел, находящихся в тепловом равновесии.

**Тепловое излучение** > Способ передачи тепла, единственный для вакуума.

**Тепловое равновесие** > Состояние тела или системы тел, при котором температура не изменяется.

**Тепловой двигатель** > Машина, в которой теплота, выделяющаяся при горении топлива, превращается в механическую работу.

**Тепловой процесс** > Переход физического тела из одного состояния теплового равновесия в другое.

**Теплоизоляторы** > Вещества, плохо проводящие тепло.

**Теплопередача** > Процесс изменения внутренней энергии тела, не сопровождаемый выполнением механической работы.

**Теплопроводники** > Вещества, хорошо проводящие тепло.

- Теплопроводность** > Способ передачи тепла от более нагретых участков тела к менее нагретым, основанный на движении и взаимодействии частиц вещества.
- Термодинамическая система** > Любое макроскопическое тело или группа тел, отделенные от других окружающих тел.
- Топливо** > Вещество, при горении которого выделяется большое количество теплоты.

### Глава 3. Электрические явления

#### В

- Вольт** > Электрическое напряжение между двумя точками цепи, при котором при перемещении заряда в 1 Кл совершается работа в 1 Дж.

#### З

- Закон Джоуля** > Количество теплоты, выделяющееся в проводнике с током, равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока.
- Закон Ома для полной цепи** > Сила тока в полной цепи равна отношению электродвижущей силы источника и общего сопротивления цепи.
- Закон Ома для участка цепи** > Сила тока на участке цепи прямо пропорциональна напряжению, приложенному к этому участку, и обратно пропорциональна его сопротивлению.
- Закон сохранения электрического заряда** > Электрический заряд системы тел сохраняется.

#### И

- Источники электрического тока** > Специальные устройства, с помощью которых можно долгое время поддерживать существование электрического поля.

#### М

- Мощность постоянного электрического тока** > Физическая величина, равная произведению напряжения и силы тока.

#### Н

- Направление электрического тока** > По соглашению выбрано направление, противоположное движению отрицательно заряженных частиц, то есть направление движения положительных зарядов.

#### О

- 10 м** > Сопротивление проводника, в котором появляется ток с силой 1 А при приложении к его концам напряжения в 1 В.

#### П

- Постоянный электрический ток** > Электрический ток, направление которого не изменяется.

**Простейшая электрическая цепь** > Источник тока, потребитель и выключатель, соединенные между собой проводами.

*P*

**Работа электрического тока** > Работа электрических сил по направленному перемещению электрических зарядов.

*C*

**Сила тока** > Физическая величина, которая выражает электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника в определенный промежуток времени.

*T*

**Тепловое действие электрического тока** > Явление нагревания проводника при прохождении по нему электрического тока.

*y*

**Удельное сопротивление** > Постоянная величина, которая характеризует способность данного вещества препятствовать прохождению электрического тока.

*Э*

**Электрическая сила** > Сила, с которой электрическое поле действует на электрически заряженные тела.

**Электрический ток** > Упорядоченное движение заряженных частиц.

**Электрическое напряжение** > Физическая величина, которая выражает работу электрического поля по перемещению заряда в 1 Кл между двумя точками поля.

**Электрическое сопротивление** > Физическая величина, характеризующая способность проводника препятствовать прохождению электрического тока.

**Электродвижущая сила (ЭДС)** > Физическая величина, которая выражает работу внешних сил, необходимую для перемещения положительного заряда в 1 Кл внутри источника тока от одного полюса к другому.

## Глава 4. Электромагнитные явления

*K*

**Катушка** > Проводник, намотанный на несущий каркас определенной формы.

**Катушка-рамка** > Катушка, находящаяся на оси, закрепленной между магнитными полюсами электрического мотора.

**Коллектор** > Устройство, предназначенное для периодического изменения полярности приложенного к катушке-рамке напряжения, состоящее из четного числа изолированных друг от друга полуколец.

**Коллекторные щетки** > Тонкие металлические пластины, которые соединяют электромотор с источником тока.

## Л

**Силовые линии магнитного поля** > Линии, вдоль которых направлены железные опилки, находящиеся в магнитном поле.

## М

**Магнитная индукция** > Физическая величина, которая характеризует магнитное поле с точки зрения интенсивности его действия в данной среде.

**Магнитное действие электрического поля** > Существование магнитного поля вокруг проводника с током.

**Магнитное поле** > Форма существования материи, которая проявляется действием на магнитную стрелку.

## П

**Правило буравчика** > Правило определения направления линий магнитного поля, выработанного электрическим током, в зависимости от его направления, с помощью буравчика с правосторонней нарезкой.

**Правило левой руки** > Правило определения направления электромагнитной силы с помощью левой руки.

## Р

**Ротор** > Подвижная часть электромотора, состоящая из катушки и коллектора, закрепленных на оси вращения с помощью двух подшипников.

## С

**Сердечник** > Металлический стержень, введенный внутрь катушки, для увеличения силы притяжения магнитного поля.

**Соленоид** > Катушка, состоящая из одного слоя проводника, намотанного на цилиндрический каркас.

**Спектр магнитного поля** > Рисунок, сформированный железными опилками в магнитном поле.

**Статор** > Неподвижная часть электромотора, являющаяся постоянным магнитом.

## Т

**Тесла** > Единица измерения магнитной индукции в СИ.

## Э

**Электрический мотор** > Устройство, в котором происходит превращение электрической энергии в механическую.

**Электромагнит** > Катушка с сердечником внутри, по которой проходит ток.

**Электромагнитная сила (Сила Ампера)** > Сила, с которой действует магнитное поле на проводник с током.

# Ответы к задачам

## Глава 1. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

- с. 11 **7.** Пройденный путь: 4 см, 8 см, 12 см, 16 см.  
Перемещение: 4 см, 8 см, 4 см, 0. **8.** 2 с; 0,5 Гц.
- с. 14 **9.** 2 м/с.
- с. 16 **9.** 4 м/с. **10.** 8 м; 1,25 Гц (75 ударов/мин.).
- с. 20 **9.** 21,25 м; 0,017 м.
- с. 24 **1.** 0,5 с; 2 Гц. **2.** 20. **3.** 15. **4.** 2,5. **5.** Комар: 36 000; Шмель: 12 000.  
**6.** 2 с; 4 с. **7.** 19,2 м. **8.** 1 м/с. **9.** 10 м/с. **10.** 1,2 м/с.
- с. 25 **11.** 3 м/с. **12.** 0,5 с; 2 Гц. **13.** 2 м/с. **14.** 60 м. **15.** 16 м.  
**16.** 6,4 м; 1,25 Гц. **17.** 6 м. **18.** В 1,5 раз. **19.** 1 Гц; 2 Гц.  
**20.** 3 601,5 м/с. **21.** 2,03 м. **22.** 1 435 м/с. **23.** 5 100 м/с.
- с. 26 **24.** 6,8 км. **25.** 4,3 м; 0,25 м. **26.** В 4,4 раза. **27.** 3,4 км. **28.** 5 с.  
**29.** 0,77 м; 3,4 м. **30.** 3 009 Гц; 1 504 Гц. **31.** Частота и период  
не изменяются; длина волны увеличивается в 14,7 раз.  
**32.** 3400 м/с. **33.** 2 с; 0,5 Гц; 1,5 м/с; 22,5 м. **34.** 200 м.

## Глава 2. ТЕПЛОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- с. 37 **6.**  $1,35 \cdot 10^7$  Дж. **8.**  $Q_1 = 50\,220$  Дж;  $Q_2 = 50\,220$  Дж.
- с. 42 **12.**  $3,9 \cdot 10^5$  Дж;  $2,1 \cdot 10^5$  Дж.
- с. 46 **9.**  $q = c$ . **10.**  $22 \cdot 10^8$  Дж;  $\approx 9$  дней.
- с. 51 **10.** 16 кг. **11.** 30 кг; 6,8 кг. **12.**  $7 \cdot 10^{11}$  Дж; 2,5 кг.
- с. 57 **12.** 4 860 Дж. **13.** 25 °С. **14.** 2 649 кДж. **15.** 595,1 кДж. **16.** 66,6 кг;  
133,4 кг. **22.** 1,2 МДж.
- с. 58 **23.** 389 700 Дж. **24.**  $3,45 \cdot 10^4$  Дж;  $1,08 \cdot 10^4$  Дж;  $4 \cdot 10^4$  Дж.  
**25.** 53 533 Дж.
- с. 59 **43.** 28 дней. **44.**  $1,44 \cdot 10^8$  Дж. **45.** 430 кг. **46.**  $\approx 19$  г.  
**47.** Спирт/уголь.
- с. 60 **50.**  $\approx 16$  кг. **51.** 26 833 Н. **52.**  $\approx 3,3$  кг. **53.**  $\approx 0,1$  кг. **54.** 48 %.  
**55.**  $\approx 7,87 \cdot 10^7$  Дж. **56.**  $\approx 22$  кг. **58.** 29 %. **59.**  $4,3 \cdot 10^3$  Н.

## Глава 3. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ

- с. 72 **2.** 3 В. **3.** 10,3 В. **4.** г) 14 В.
- с. 76 **4.** 0,04 А.

- с. 80 **4.** 1,7 Ом.
- с. 83 **1.** 1,5 А. **2.** 500 В. **3.**  $\approx 3,33$  Ом; **4.** 4 Ом.
- с. 87 **3.** 1,5 В. **4.** 900 Дж. **5.** 2 А.
- с. 91 **1.** 12 Дж. **2.** 4,8 Кл. **3.** Второго. В 3 раза. **4.** 12 с. **5.** 7 200 Кл.  
**6.**  $4,8 \cdot 10^{-8}$  А. **7.**  $3,125 \cdot 10^{19}$ . **8.**  $3,75 \cdot 10^{19}$ . **11.** Никелин.
- с. 92 **12.** 200 м. **13.**  $17 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>. **14.** Второго. В 5 раз. **15.** 0,085 мм<sup>2</sup>.  
**16.** Уменьшится в 4 раза. **17.** 18,84 Ом. **18.** 30,24 кг. **19.**  $\approx 0,2$  мм<sup>2</sup>;  
 $\approx 11,8$  м. **20.**  $\approx 54,9$  г. **21.** 14 Ом. **22.** 0,4 В. **23.** В 3 раза. **24.** 6 Ом.  
**25.** 2,5 Ом.
- с. 93 **27.** 2,25 кДж. **28.** 33 кДж. **29.** 100 Вт. **30.** 8 В. **31.** 17,28 леев.  
**32.** 18 Дж. **33.** 5,5 Ом. **34.** 2 Ом. **35.**  $\approx 5,33$  В. **36.**  $\approx 0,96$  В.  
**37.** 3,36 кДж.

#### Глава 4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ

- с. 105 **5.** Увеличивается в 1,5 раза. **6.** 5 мН. **7.** 0,75 Тл.
- с. 111 **6.** 10 кН.
- с. 115 **8.** 1,1 мН.
- с. 116 **9.** 2,5 А. **10.** 5 см. **11.** 0,4 Тл. **12.** 0,08 Тл. **13.** Изменится на 0,125 Н.  
**14.** 0,5 Тл. **15.** 10 мм<sup>2</sup>.
- с. 117 **22.** 100 кг. **23.** 30 кН.