



**ГЕЙДАР АЛИЕВ**  
**ОБЩЕНАЦИОНАЛЬНЫЙ ЛИДЕР**  
**АЗЕРБАЙДЖАНСКОГО НАРОДА**

**LAYIH**

**LAYİH**



9

МИРЗАЛИ МУРГУЗОВ  
РАСИМ АБДУРАЗАГОВ  
РОВШАН АЛИЕВ  
ДИЛБАР АЛИЕВА

# ФИЗИКА

УЧЕБНИК  
по предмету Физика для 9-го класса  
общеобразовательных школ

Замечания и предложения, связанные с этим изданием,  
просим отправлять на электронные адреса:

[bn@bakineshr.az](mailto:bn@bakineshr.az) и [derslik@edu.gov.az](mailto:derslik@edu.gov.az)

Заранее благодарим за сотрудничество!

В

А

К

І



Н

Ә

\$

R

LAYIH

# 9

## ФИЗИКА

### Содержание

#### 1. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| 1.1. Классическая электронная теория электропроводности металлов..... | 8  |
| 1.2. Зависимость сопротивления металлов от температуры.....           | 11 |
| Упражнение 1.1 .....                                                  | 14 |
| 1.3. Электрический ток в электролитах .....                           | 15 |
| Проект .....                                                          | 18 |
| Упражнение 1.2 .....                                                  | 19 |
| Практическая работа. Исследование явления электролиза .....           | 20 |
| 1.4. Электрический ток в вакууме .....                                | 21 |
| Упражнение 1.3 .....                                                  | 24 |
| 1.5. Электрический ток в газах. Несамостоятельный газовый разряд..... | 25 |
| 1.6. Самостоятельный газовый разряд и его виды.....                   | 28 |
| Упражнение 1.4 .....                                                  | 31 |
| 1.7. Полупроводники. Собственная проводимость полупроводников .....   | 32 |
| 1.8. Примесная проводимость полупроводников .....                     | 35 |
| 1.9. p-n переход. Полупроводниковый диод .....                        | 38 |
| 1.10. Полупроводниковые приборы .....                                 | 42 |
| Упражнение 1.5.....                                                   | 45 |
| 1.11. Электрический ток в различных средах (урок-презентация).....    | 46 |
| Обобщающие задания .....                                              | 47 |

#### 2. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Магнитные явления. Постоянные магниты.....         | 48 |
| 2.2. Магнитное поле. Источник магнитного поля .....     | 52 |
| Упражнение 2.1 .....                                    | 54 |
| 2.3. Индукция магнитного поля.....                      | 55 |
| 2.4. Магнитное поле Земли .....                         | 58 |
| 2.5. Магнитная индукция прямого проводника с током..... | 60 |
| Упражнение 2.2 .....                                    | 63 |

|                                                                                                                            |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.6. Магнитное поле кругового тока и катушки с током .....                                                                 | 64  |
| 2.7. Электромагнит и его применение .....                                                                                  | 67  |
| <b>Упражнение 2.3</b> .....                                                                                                | 70  |
| 2.8. Магнитное взаимодействие токов .....                                                                                  | 71  |
| 2.9. Действие магнитного поля на прямой проводник с током. Модуль магнитной<br>индукции .....                              | 73  |
| <b>Упражнение 2.4</b> .....                                                                                                | 76  |
| 2.10. Действие магнитного поля на рамку с током .....                                                                      | 77  |
| 2.11. Применения силы Ампера: электродвигатель и электроизмерительные<br>приборы .....                                     | 80  |
| <b>Упражнение 2.5</b> .....                                                                                                | 83  |
| 2.12. Действие магнитного поля на движущиеся заряды. Сила Лоренца .....                                                    | 84  |
| <b>Упражнение 2.6</b> .....                                                                                                | 86  |
| 2.13. Явление электромагнитной индукции .....                                                                              | 87  |
| 2.14. Направление индукционного тока .....                                                                                 | 90  |
| <b>Практическая работа. Изучение явления электромагнитной индукции</b> .....                                               | 92  |
| <b>Упражнение 2.7</b> .....                                                                                                | 93  |
| 2.15. Магнитная проницаемость вещества .....                                                                               | 94  |
| 2.16. Сравнение гравитационного, электрического и магнитного полей (урок-<br>презентация) .....                            | 96  |
| 2.17. Под каким воздействием гравитационного, электрического<br>и магнитного полей Земли мы находимся? (урок-дебаты) ..... | 100 |
| <b>Обобщающие задания</b> .....                                                                                            | 106 |

### 3. СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.1. Источники света .....                                                                                        | 107 |
| 3.2. Прямолинейное распространение света .....                                                                    | 110 |
| 3.3. Явления, объясняющие закон прямолинейного распространения света .....                                        | 113 |
| <b>Упражнение 3.1</b> .....                                                                                       | 116 |
| 3.4. Скорость распространения света и методы её определения .....                                                 | 117 |
| <b>Упражнение 3.2</b> .....                                                                                       | 119 |
| 3.5. Закон отражения света .....                                                                                  | 120 |
| 3.6. Построение изображения в плоском зеркале .....                                                               | 123 |
| <b>Проект</b> .....                                                                                               | 126 |
| <b>Упражнение 3.3</b> .....                                                                                       | 127 |
| 3.7. Сферическое зеркало .....                                                                                    | 128 |
| 3.8. Построение изображения в сферическом зеркале .....                                                           | 131 |
| 3.9. Преломление света. Закон преломления света .....                                                             | 133 |
| <b>Упражнение 3.4</b> .....                                                                                       | 137 |
| 3.10. Прохождение света через плоскопараллельную стеклянную пластину<br>и трехгранную стеклянную призму .....     | 138 |
| <b>Практическая работа. Определение показателя преломления стекла</b> .....                                       | 140 |
| 3.11. Полное внутреннее отражение .....                                                                           | 141 |
| <b>Упражнение 3.5</b> .....                                                                                       | 144 |
| 3.12. Линзы .....                                                                                                 | 145 |
| 3.13. Построение изображения тела в тонких линзах .....                                                           | 148 |
| <b>Упражнение 3.6</b> .....                                                                                       | 152 |
| 3.14. Формула тонкой линзы .....                                                                                  | 153 |
| <b>Практическая работа. Определение фокусного расстояния<br/>        и оптической силы собирающей линзы</b> ..... | 155 |
| <b>Упражнение 3.7</b> .....                                                                                       | 156 |
| 3.15. Глаз и зрение .....                                                                                         | 157 |
| 3.16. Дефекты зрения. Очки .....                                                                                  | 162 |
| 3.17. Фотоаппарат .....                                                                                           | 165 |

|                                                                                                                                    |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Упражнение 3.8 .....                                                                                                               | 168 |
| Обобщающие задания .....                                                                                                           | 169 |
| <b>4. АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО</b>                                                                                                      |     |
| 4.1. Радиоактивность .....                                                                                                         | 171 |
| 4.2. Атом – сложная связанная система .....                                                                                        | 174 |
| 4.3. Лазер .....                                                                                                                   | 177 |
| <b>Проект</b> .....                                                                                                                | 179 |
| <b>Упражнение 4.1</b> .....                                                                                                        | 180 |
| 4.4. Атомное ядро – связанная система. Массовое и зарядовое числа ядра .....                                                       | 181 |
| 4.5. Изотопы .....                                                                                                                 | 183 |
| 4.6. Применение изотопов (урок-презентация) .....                                                                                  | 186 |
| <b>Упражнение 4.2</b> .....                                                                                                        | 186 |
| 4.7. Радиоактивные превращения атомных ядер: $\alpha$ -, $\beta$ - и $\gamma$ -излучения.<br>Правило радиоактивного смещения ..... | 187 |
| <b>Упражнение 4.3</b> .....                                                                                                        | 188 |
| 4.8. Закон радиоактивного распада .....                                                                                            | 189 |
| 4.9. Некоторые физические величины в атомно-ядерных явлениях<br>и их единицы измерения .....                                       | 191 |
| <b>Упражнение 4.4</b> .....                                                                                                        | 193 |
| 4.10. Энергия связи ядер. Дефект масс .....                                                                                        | 193 |
| 4.11. Ядерные реакции .....                                                                                                        | 196 |
| <b>Упражнение 4.5</b> .....                                                                                                        | 198 |
| 4.12. Деление ядер урана .....                                                                                                     | 199 |
| 4.13. Цепная ядерная реакция. Атомная бомба .....                                                                                  | 201 |
| <b>Упражнение 4.6</b> .....                                                                                                        | 204 |
| 4.14. Действие радиоактивного излучения. Поглощенная доза излучения .....                                                          | 205 |
| 4.15. Ядерный реактор .....                                                                                                        | 207 |
| <b>Упражнение 4.7</b> .....                                                                                                        | 210 |
| 4.16. Альтернативные источники энергии (урок-презентация) .....                                                                    | 211 |
| 4.17. Термоядерные реакции .....                                                                                                   | 213 |
| <b>Упражнение 4.8</b> .....                                                                                                        | 215 |
| 4.18. Является ли ядерное оружие гарантом международного<br>мира? (урок-дебаты) .....                                              | 215 |
| <b>Обобщающие задания</b> .....                                                                                                    | 217 |
| <b>Словарь терминов</b> .....                                                                                                      | 218 |

LAYIH

## ЗНАКОМСТВО С УЧЕБНИКОМ!

- 1** Мотивация. Описание интересных ситуаций и явлений, завершающееся вопросами.

- 2** Исследование. Различные задания, лабораторные работы и опыты, направленные на выявление причинно-следственных связей исследуемых явлений.

- 3** Разъяснение. Главное содержание урока: основные понятия, пояснения по теме, определения и правила.

- 6** Творческое применение. Задания или опыты, закрепляющие полученные знания.

- 7** Что вы узнали? Обобщение новой информации с использованием ключевых слов.

- 8** Ключевые слова. Новые понятия и термины.

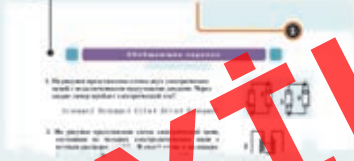
- 9** Проверьте свои знания. Вопросы и задания, направленные на развитие творческих способностей и оценку знаний.

- 4** Решение задач. Для расширения знаний при изучении темы.

- 5** Практические работы. Экспериментальная деятельность по теме.

- 10** Проект. Выполняется дома. Проекты носят экспериментальный характер. Для их выполнения могут быть использованы различные источники.

- 11** Обобщающие задания. Вопросы и задания по каждому разделу.



LAYIN

# 1

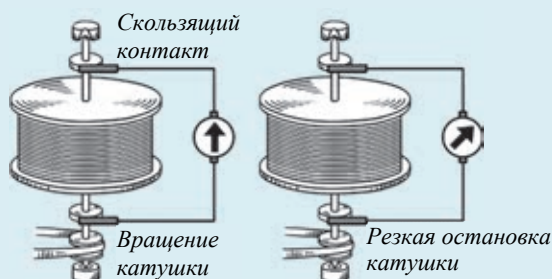
## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

### 1.1

### КЛАССИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ МЕТАЛЛОВ

В 1916 году американские ученые Ричард Толман и Томас Стюард провели интересный опыт. При помощи скользящих контактов концы катушки, состоящей из многочисленных медных витков, были присоединены к гальванометру.

При резкой остановке катушки, вращающейся с большой скоростью, смещение стрелки гальванометра показывает, что в цепи с катушкой возникает электрический ток.



- К каким выводам пришли ученые после этого опыта?

Гипотезу “электропроводность металлов есть упорядоченное движение свободных электронов” впервые предложил немецкий физик Карл Рикке. Справедливость этой гипотезы он подтвердил в 1901 году, проведя классический эксперимент.

#### Исследование

#### 1

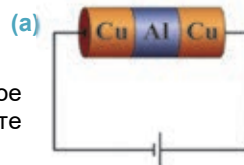
#### Результат эксперимента К.Рикке.

**Ход исследования:** Внимательно прочитайте приведенное ниже краткое описание эксперимента Рикке и сформулируйте свою гипотезу по результатам эксперимента.

К цепи постоянного тока последовательно подключаются плотно прижатые друг к другу три металлических цилиндра одинакового размера. Крайние медные, а средний – алюминиевый (а). Через год непрерывного протекания электрического тока через эти цилиндры были исследованы их поверхности соприкосновения. *Было выявлено, что, несмотря на длительное протекание электрического тока, не происходит переноса атомов меди в алюминий, а атомов алюминия в медь.*

#### Обсудите результат:

- К каким выводам можно прийти по результатам исследования: движением каких носителей электрического заряда создается электрический ток в металлических проводниках? Почему?



Классическая электронная теория электропроводности веществ была предложена в 1900–1904 годах немецким ученым Паулем Друдом (1863–1906), английским ученым Джозефом Джоном Томсоном (1856–1940) и голландским ученым Хендриком Лоренцем (1853–1928).

Согласно классической электронной теории, по своей электропроводности вещества делятся на три группы: *проводники, диэлектрики и полупроводники*.

• **Проводник** – вещество, которое хорошо проводит электрический ток. К проводникам относятся: металлы, электролиты, плазма и др. Влажный воздух, тела животных и человека могут также проводить электрический ток.

• **Диэлектрик** – это вещество, не обладающее свободными носителями заряда и состоящее только из связанных зарядов. Эти заряды образуют сильные ионно-электронные связи и могут совершать очень незначительные перемещения около положения равновесия. Поэтому диэлектрики не проводят электрический ток. К диэлектрикам относятся: газы при обычных условиях, некоторые жидкости (дистиллированная вода, масло и др.), стекло, каучук, керамика и др.

• **Полупроводник** – это вещество, у которого число свободных носителей заряда зависит от внешнего воздействия (температуры, освещения, внесения примесей в их состав и др.). К полупроводникам относятся: германий, кремний, серое олово, некоторые оксиды и сульфиды, теллуриды и т.д.

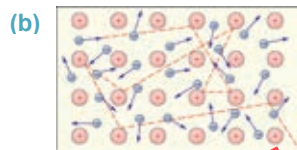
**В чем заключается физический механизм электропроводности металлических проводников?**

Физический механизм электропроводности металлических проводников определяется основными положениями классической электронной теории:

• **Металлы** – это физические системы, имеющие кристаллическую структуру. В обычном состоянии каждый атом металла, теряя валентный электрон, превращается в положительный ион. Эти ионы, располагаясь в узлах кристаллической решетки, совершают колебательные движения вокруг определенных положений равновесия. Поэтому ионы не могут участвовать в процессе создания электрического тока в металлах.

• Валентные электроны металла, потерявшие связь с атомным ядром, свободно перемещаются в межионном пространстве. Поэтому такие электроны называются **свободными электронами**. Определено, что концентрация свободных электронов для некоторых металлов составляет  $10^{26} - 10^{28} \frac{1}{\text{м}^3}$ .

• При отсутствии электрического поля свободные электроны в металле, в результате многочисленных столкновений совершают хаотическое движение. Это движение схоже с беспорядочным тепловым движением молекул газа, поэтому свободные электроны в металлах рассматриваются как модель **электронного газа**. На рисунке прерывистой линией показана траектория движения одного электрона в электронном газе (b).

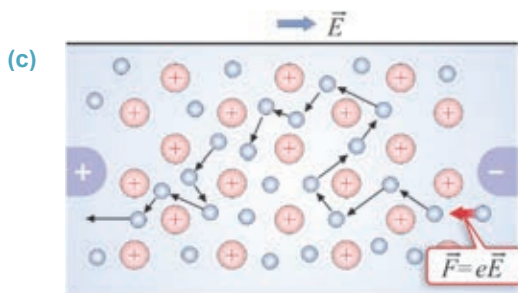


• Электрическое поле, возникшее при подсоединении проводника к источнику тока, превращает хаотическое движение свободных электронов в упорядоченное направленное движение. При этом скорость упорядоченного движения каждого электрона зависит от двух факторов:

- от количества столкновений с ионами;
- от электрического поля.

Скорость упорядоченного движения свободных электронов в проводнике очень мала ( $\approx 0,1 \div 10 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ ).

Это происходит по той причине, что свободные электроны при движении испытывают бесчисленное количество соударений с ионами кристаллической решетки. Эти соударения тормозят упорядоченное движение свободных электронов (с).



Итак, электрический ток в металлических проводниках – это результат упорядоченного движения свободных электронов, который не приводит к изменению химического состава металла.

**Но если электроны в проводниках двигаются с такой малой скоростью, почему же при нажатии на выключатель лампа загорается мгновенно?**

Скорость распространения тока в проводнике вовсе не является скоростью упорядоченного движения свободных электронов.

Скорость электрического тока в проводнике равна скорости распространения электрического поля в нем. Электрическое поле в проводнике распространяется с очень большой скоростью, сравнимой со скоростью распространения света в вакууме  $\approx 3 \cdot 10^8$  м/сек.

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** За какое время электрический ток из Баку достигнет города Балакен по проводам общей длиной 450 км? Скорость электрического тока в проводнике  $2,5 \cdot 10^5$  км/с.

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. По электропроводности вещества делятся на три группы ...
2. Модель электронного газа ...
3. Скорость электрического тока в проводнике ...
4. Основные положения классической электронной теории металлов ...

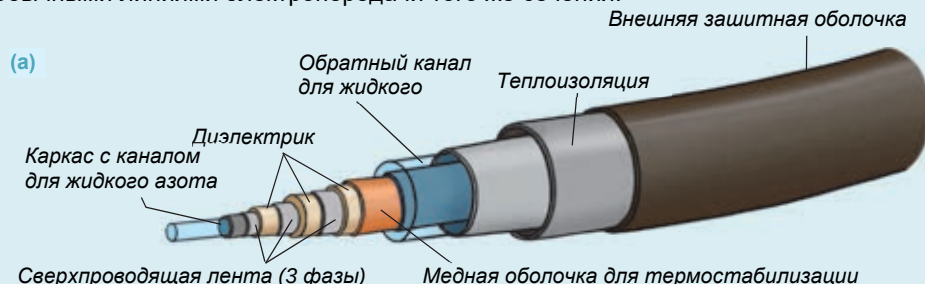
#### Проверьте свои знания

1. Какой вывод можно сделать из эксперимента Рикке? Ответ обоснуйте.
2. Почему металлы в обычном состоянии электронейтральны?
3. Что необходимо сделать для распространения электрического поля в металлах?
4. Как можно обобщить основные положения классической электронной теории металлов?

## 1.2

## ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Впервые в мире в Южной Корее строят необычную линию электропередач, соединяющую центр столицы Сеула с его пригородами. Металлический провод длиной 20 км, используемый в этой линии электропередачи, состоит из электрического кабеля, в котором провод помещен в жидкий азот (а). Ожидается, что с этой линией электропередачи, с помощью азотного канала, количество электроэнергии, поставляемое потребителям, увеличится в 800 раз по сравнению с обычными линиями электропередачи того же сечения.



- Почему у этого провода высокая электропроводимость в отличие обычного электропровода?

### Исследование

1

**Проверка зависимости сопротивления проводников от температуры.**

**Оборудование:** источник постоянного тока, стальная спираль, амперметр, спиртовка (или свеча), спички, штатив, ключ, соединительный провод.

**Ход исследования:**

1. Соберите электрическую цепь, представленную на рисунке (б).
2. Замкнув ключ, отметьте силу тока в цепи по показаниям амперметра. При помощи зажженной спиртовки нагрейте в течение 1–2 минут спираль с током и проследите, как изменяется сила электрического тока.
3. Потушив спиртовку, наблюдайте за показаниями амперметра при охлаждении спирали с током.

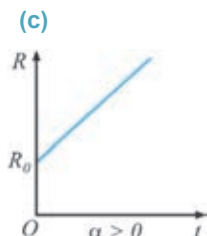
**Обсудите результаты:**

- Как изменяется сила тока в цепи при нагревании и охлаждении металлической спирали с током?
- К какому выводу вы пришли в ходе исследования?



Результаты исследования показали, что при изменении температуры сопротивление металлического проводника тоже меняется: с увеличением температуры сопротивление металлического проводника увеличивается, при уменьшении температуры – уменьшается.

**Почему при нагревании металлического проводника его сопротивление увеличивается?** Согласно классической электронной теории, при нагревании металлического проводника с током амплитуда колебательного движения положительных ионов, находящихся в узлах его кристаллической решетки, увеличивается.



В результате число столкновений упорядоченно движущихся свободных электронов с ионами резко увеличивается, следовательно при нагревании сопротивление проводника увеличивается. В итоге сила тока в металлическом проводнике уменьшается. В интервале небольших температур сопротивление металлических проводников линейно зависит от температуры, и эта зависимость определяется следующей формулой (b):

$$R = R_0(1 + \alpha t) = R_0(1 + \alpha \Delta T). \quad (1.1)$$

Здесь  $R_0$  – сопротивление проводника при температуре  $0^\circ\text{C}$  (273 K),  $R$  – сопротивление проводника при температуре  $t$  (T),  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

• Температурный коэффициент сопротивления численно равен отношению изменению сопротивления проводника при нагревании его на  $1^\circ\text{C}$  (1K):

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t} = \frac{R - R_0}{R_0 \Delta T}. \quad (1.2)$$

Относительное изменение сопротивления проводника прямо пропорционально изменению температуры:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha \Delta T. \quad (1.3)$$

Для чистых металлов температурный коэффициент сопротивления ( $\alpha$ ) всегда больше 0 и равен нижеприведенному значению:

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}}.$$

Аналогично выражению (1.1) можно записать формулу для температурной зависимости и удельного сопротивления металлического проводника:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t) = \rho_0(1 + \alpha \Delta T). \quad (1.4)$$

Зависимость сопротивления металлов от температуры используется в специальных приборах, например, в термометрах сопротивления (d). Эти термометры, изготовленные из чистых металлов, дают возможность измерять очень высокие или очень низкие температуры. Например, платиновый термометр может измерять температуру в интервале  $-264^\circ\text{C} \div 1064^\circ\text{C}$ , а медный термометр – в интервале  $-50^\circ\text{C} \div 180^\circ\text{C}$ .

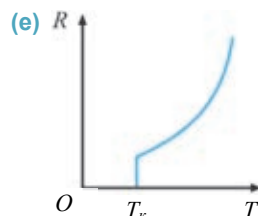
(d)



Возможно ли получить металлический проводник с такой высокой электропроводностью, чтобы сопротивление можно было считать равным нулю? При очень низких температурах у некоторых металлических проводников сопротивление скачкообразно падает до нуля. Этот эффект в металлах в 1911 году впервые обнаружил голландский ученый *Камерлинг-Оннес*. Он экспериментально определил, что сопротивление ртути при температуре 4,15 К скачкообразно падает до нуля. В дальнейшем в результате многочисленных исследований это свойство было обнаружено у многих веществ.

• *Температура, при которой электрическое сопротивление проводника падает до нуля, называется **критической температурой**, а электропроводность при этой температуре называется **сверхпроводимостью (е)**.*

Если создать электрический ток в таком сверхпроводящем проводнике, то ток в нем может существовать долгое время даже после удаления источника тока.



Голландский ученый  
Хайк Камерлинг-Оннес  
(1853–1926)

• Исследовал свойства веществ при сверхнизких температурах, разработал технологию получения жидкого гелия. За работы в этой области в 1913 году был удостоен Нобелевской премии.

## Творческое применение

### Исследование 2

Решите задачу в соответствии с приведенным ниже образцом.

**Образец.** Сопротивление медного проводника при температуре 0°C равно 4 Ом. Определите сопротивление проводника при температуре 80°C ( $\alpha_{Cu} = 4,3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}$ ).

| Дано                                                                                                                                     | Решение                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $t_0 = 0^\circ C$ ,<br>$R_0 = 4 \text{ Ом}$ ,<br>$t = 80^\circ C$ ,<br>$\alpha_{Cu} = 4,3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}$ ,<br>$R = ?$ | $R = R_0(1 + \alpha t)$ .<br>$\Delta t = t - t_0$ .                                                                                |
|                                                                                                                                          | Вычисление<br>$R = 4 \text{ Ом} \cdot \left(1 + 4,3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C} \cdot 80^\circ C\right) = 5,376 \text{ Ом}$ . |
|                                                                                                                                          | Ответ: 5,376 Ом                                                                                                                    |

**Задача.** Сопротивление алюминиевого проводника при температуре 0°C равно 4,8 Ом. Определите сопротивление проводника при температуре -110°C ( $\alpha_{Al} = 3,8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ C}$ ).

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?



• Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. Температурный коэффициент сопротивления численно ...
2. Относительное изменение сопротивления проводника ...
3. Температура, при которой электрическое сопротивление проводников падает до нуля ...
4. Сверхпроводимость ...

### Проверьте свои знания

1. Почему, согласно классической электронной теории, электрическое сопротивление проводника при его нагревании увеличивается?
2. Чему равен температурный коэффициент сопротивления?
3. Как вычисляется относительное изменение сопротивления проводника?
4. Что такое сверхпроводимость?

### Упражнение 1.1

1. Электрон движется по проводнику со скоростью  $v = 0,006 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ . На сколько удалится он от источника тока в течение 24 часов?
2. Сопротивление медного проводника при температуре  $0^\circ\text{C}$  4 Ом. Определите сопротивление проводника при температуре  $-180^\circ\text{C}$  ( $\alpha_{Cu} = 4,3 \cdot 10^{-3} \frac{1}{^\circ\text{C}}$ ).
3. Электрическое поле в вакууме распространяется со скоростью  $300000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . За какое время оно распространяется на расстояние, равное радиусу Земли (в среднем  $R_{\text{Земли}} = 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$ ), и на расстояние от Земли до Солнца (среднее расстояние до Солнца  $R_{\text{З-С}} = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ м}$ )?
4. Как можно объяснить закон Джоуля-Ленца на основании электронной теории?
5. Каким выражением определяется температурный коэффициент сопротивления проводника ( $R_0$  – сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ ,  $\Delta t$  – изменение температуры,  $R$  – сопротивление проводника при температуре  $t^\circ\text{C}$ )?

А)  $\frac{R-R_0}{t}$     В)  $\frac{(R-R_0)t}{R_0}$     С)  $\frac{R-R_0}{R_0}$     Д)  $\frac{R-R_0}{R_0 t}$     Е)  $\frac{(R-R_0)t}{R}$

### 1.3 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЭЛЕКТРОЛИТАХ

Мнение Омар, Айнур и Назрин во время обсуждения в группе.

**Айнур:** – нет, наоборот, «Бадамлы» проводит электрический ток относительно лучше, чем сладкая вода.

**Омар:** – вода с растворенным сахаром проводит электрический ток относительно лучше, чем «Бадамлы».

**Назрин:** – я думаю, что талая вода и сахарная вода не проводят электричество.



• Мнение кого из учеников верно? Почему?

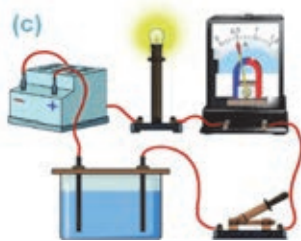
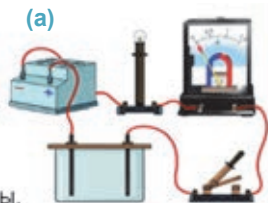
#### Исследование 1

**Почему раствор, полученный при смешивании двух диэлектриков, проводит электрический ток?**

**Оборудование:** источник постоянного тока, сосуд с угольными электродами (электролитическая ванна), лампочка, амперметр, сухая поваренная соль ( $\text{NaCl}$ , 200-300 г), дистиллированная вода (1 литр), ложка, ключ, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Соберите электрическую цепь из источника тока, лампы, амперметра, ключа, сосуда с поваренной солью и проводов с электродами, соединенными последовательно (a).
2. Опустите электроды в сосуд до соприкосновения их концов с поваренной солью. Замкнув ключ, наблюдайте за показанием амперметра, а также за тем, светится лампа или нет (b).
3. Удалите из сосуда поваренную соль, повторите опыт, налив в сосуд дистиллированной воды, и определите, проходит через цепь электрический ток или нет.
4. Добавив и размешав одну столовую ложку поваренной соли в дистиллированной воде, замкните цепь и наблюдайте произошедшее явление (c).



**Обсудите результаты:**

- Что было определено в ходе исследования: являются ли проводником или диэлектриком поваренная соль и дистиллированная вода, взятые в отдельности?
- Что удивительного произошло в электрической цепи при смешивании этих двух веществ? Почему?

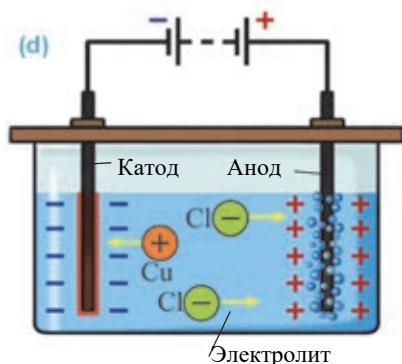
**Электролитическая диссоциация.** Молекулы ряда веществ – это устойчиво связанные системы, состоящие из положительных и отрицательных ионов. Такую систему создают сильные электрические силы взаимного притяжения между ионами. Например, положительный ион натрия ( $Na^+$ ) и отрицательный ион хлора ( $Cl^-$ ) в молекуле поваренной соли ( $NaCl$ ), положительный ион меди ( $Cu^{+2}$ ) и отрицательный ион хлора ( $2Cl^-$ ) в молекуле хлорида меди ( $CuCl_2$ ) представляют собой сильные связанные системы. Поэтому, когда эти вещества подключены к внешней электрической цепи, они не проводят электрический ток, потому что они не содержат свободных носителей заряда – то есть они являются диэлектриками.

Однако при растворении этих веществ в воде, молекулы вещества распадаются на положительные и отрицательные ионы. В растворе возникают свободные носители заряда, а именно ионы, и он превращается в проводник:

- Растворы (или расплавы) веществ (солей, кислот и щелочей), проводящие электрический ток, называются **электролитами**.

- Процесс распада нейтральных молекул в воде на положительные и отрицательные ионы называется **электролитической диссоциацией**.

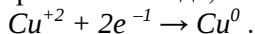
**Природа ионной проводимости.** Экспериментально было установлено, что при протекании тока через электролит, в результате переноса вещества и заряда, происходит их выделение на электродах. На рисунке представлена схема одного из таких опытов (d): два угольных электрода подсоединены к полюсам источника тока. Подсоединенный к положительному полюсу электрод называется **анодом**, а к отрицательному – **катодом**.



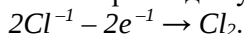
Электроды помещаются в электролитическую ванну, например, с водным раствором хлорида меди, и цепь замыкается. Возникшее электрическое поле создает направленное движение положительных ионов меди к катоду, а отрицательных двух ионов хлора к аноду.

- Электрический ток в электролитах – это упорядоченное движение положительных и отрицательных ионов.

Достигшие катода ионы, получив от него электрон, превращаются в нейтральные атомы и, осев на поверхности катода, создают на ней слой меди:



Отрицательные же ионы, отдав лишние электроны аноду, нейтрализуются, и на поверхности анода выделяется хлор в виде пузырьков газа (см. d):



Значит, характерной особенностью ионной проводимости является то, что наряду с переносом заряда осуществляется и перенос массы (вещества):

- Процесс выделения вещества на электродах при протекании электрического тока через электролит называется **электролизом**.

Английский ученый Майкл Фарадей (1791–1867) определил, от каких физических величин зависит масса вещества, выделившегося на поверхности электродов при электролизе.

Эта зависимость, называемая *законом электролиза*, выражается так:

• *Масса вещества, выделившегося на поверхности электрода при электролизе, прямо пропорциональна количеству электрического заряда, проходящего через электролит:*

$$m = kq$$

т.к.  $q = It$ , то:

$$m = kIt.$$

Здесь **m** – масса вещества, выделившегося на поверхности электрода, **q** – количество электрического заряда, прошедшего через электролит, **I** – сила тока в цепи, **k** – коэффициент пропорциональности, называемый *электрохимическим эквивалентом вещества*. Единица электрохимического эквивалента в СИ:

$$[k] = \frac{[m]}{[q]} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$

Численное значение электрохимического эквивалента равно массе вещества, выделившегося на электроде при прохождении через электролит заряда 1 Кл. Электрохимический эквивалент имеет разные значения в зависимости от валентности и типа вещества (таблица 1.1).

**Таблица 1.1.** Электрохимический эквивалент некоторых ионов

| Вещество  | Валентность | Электрохимический эквивалент $k, \left(\frac{\text{мг}}{\text{Кл}}\right)$ |
|-----------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Ртуть     | 1           | 2,0736                                                                     |
| Серебро   | 1           | 1,1179                                                                     |
| Свинец    | 2           | 1,0736                                                                     |
| Бром      | 1           | 0,8282                                                                     |
| Золото    | 3           | 0,6812                                                                     |
| Медь      | 1           | 0,6588                                                                     |
| Медь      | 2           | 0,3294                                                                     |
| Олово     | 2           | 0,6150                                                                     |
| Платина   | 4           | 0,5058                                                                     |
| Хлор      | 1           | 0,3674                                                                     |
| Цинк      | 2           | 0,3388                                                                     |
| Никель    | 2           | 0,3041                                                                     |
| Никель    | 3           | 0,2027                                                                     |
| Натрий    | 1           | 0,2383                                                                     |
| Железо    | 3           | 0,1929                                                                     |
| Группа OH | 1           | 0,1763                                                                     |
| Сера      | 2           | 0,1661                                                                     |
| Алюминий  | 3           | 0,0932                                                                     |
| Кислород  | 2           | 0,0829                                                                     |
| Водород   | 1           | 0,01045                                                                    |

Исследование

2

**Определите массу выделившегося хрома.**

**Задача.** Процесс покрытия слоем хрома (процесс хромирования) поверхности стальной пластины в электролитической ванне протекал при силе тока  $I = 2\text{ А}$ . Определите массу слоя хрома, выделившегося на поверхности стальной пластины в течение  $t = 3$  часов ( $k_{\text{хром}} = 18 \cdot 10^{-8} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$ ).

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. Электролит – ...
2. Электролитическая диссоциация – ...
3. Электрический ток в электролитах – ...
4. Электролиз – ...
5. Закон электролиза – ...

Проверьте свои знания

1. Каков механизм электролитической диссоциации?
2. Что такое электролит и чем отличается его электропроводность от электропроводности металлов?
3. Объясните процесс электролиза.
4. Как выражается закон электролиза?

Проект

Подготовьте электронную презентацию по теме “Практическое применение электролиза” с использованием электронных ресурсов.

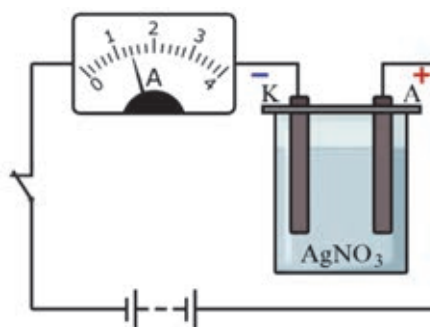
LAYIH

**Упражнение 1.2**

1. При электролизе раствора нитрата серебра выделилось 7,84 г серебра. Определите количество электрического заряда, прошедшего через раствор

$$(k_{\text{серебра}} = 1,12 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}).$$

2. На электроде в электролитической ванне за 10 мин. при силе тока 6А выделилось 1,224 г цинка. Определите электрохимический эквивалент цинка.
3. При электролизе раствора медного купороса в течение 50 мин. на катоде выделилось 1,98 г меди. При какой силе тока протекал электролиз ( $k_{\text{меди}} = 0,33 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}$ )?
4. На рисунке представлена схема электролиза раствора нитрата серебра. На основании предоставленных данных определите время, за которое на катоде выделится 2,52 г серебра (см: таблица 1.1).



5. При протекании через раствор нитрата серебра электрического заряда 1 Кл на катоде выделилось 1,11 мг серебра. Сколько на катоде выделится серебра при прохождении через раствор 1500 Кл электрического заряда?

**LAYIH**

## Практическая работа

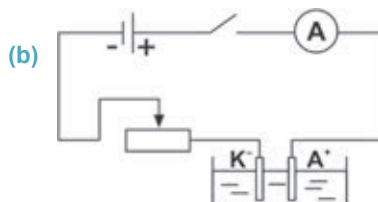
### Исследование явления электролиза.

**Оборудование:** источник постоянного тока, электролитическая ванна, водный раствор сульфата меди ( $\text{CuSO}_4$ ), электроды, секундомер, амперметр, реостат, ключ, весы, разновесы, бумажные салфетки, соединительные провода (а).



### Ход исследования:

1. Взвесив катод на весах, определите его массу  $m_1$ .
2. Перенесите на рабочий листок представленную на рисунке схему и соберите по этой схеме электрическую цепь (b).



### Внимание!

- а) не забудьте, что электрод, массу которого определяем, является катодом и присоединяется к отрицательному полюсу источника тока;
- б) в ходе опыта сила тока в цепи поддерживается постоянной при помощи реостата;
- в) перенесите таблицу 1.2 в рабочий листок и отметьте в ней результаты измерений.

3. Поместите электроды в ванну с раствором. Замкните ключ и одновременно включите секундомер. Поддерживайте силу тока в цепи в 2 А.
4. Через 8 минут цепь разомкните. Высушив салфеткой катод, измерьте на весах его массу  $m_2$ .
5. Опыт повторите еще два раза: каждые 8 минут подключайте катод, масса которого определяется, к отрицательному полюсу источника.
6. Вычислите по формуле  $m = m_2 - m_1$  массу выделившейся меди на катоде за время 8 минут, 16 минут и 24 минуты.
7. Вычислите количество заряда, прошедшего через электролит за соответствующий промежуток времени по формуле  $q = It$ .

Таблица 1.2.

| № опыта | Масса катода |              | Масса выделившейся на катоде меди | Время       |           | Сила тока | Электрический заряд |
|---------|--------------|--------------|-----------------------------------|-------------|-----------|-----------|---------------------|
|         | $m_1$ , (кг) | $m_2$ , (кг) | $m$ , (кг)                        | $t$ , (мин) | $t$ , (с) | $I$ , (А) | $q$ , (Кл)          |
| 1       |              |              |                                   | 8           |           |           |                     |
| 2       |              |              |                                   | 16          |           |           |                     |
| 3       |              |              |                                   | 24          |           |           |                     |

### Обсудите результаты:

- Как зависит масса выделившейся на электроде меди от количества заряда, прошедшего через электролит? Представить зависимость графически.

## 1.4 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ВАКУУМЕ

Скорость упорядоченного движения свободных электронов в металле  $\approx 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$ , а в вакууме  $\approx 10^4 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Таким образом, если в вакууме создать свободные электроны, то вакуум может стать проводником электрического тока.

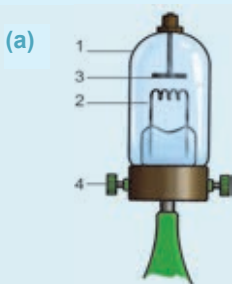
- ?
- Как может образоваться пучок свободных электронов в вакууме?
  - Возможно ли сделать вакуум проводящим электрический ток?

### Исследование 1

#### Вакуум диэлектрик или проводник?

**Оборудование:** источник постоянного тока, электрометр, стеклянная палочка, демонстрационная двухэлектродная вакуумная лампа, соединительные провода.

**Устройство демонстрационной двухэлектродной вакуумной лампы:** она состоит из вакуумного стеклянного баллона (1). В лампу впаиваются два проводника, называемые **электродами, катод (2) и анод (3)**. Катод в виде спирали нагревается или непосредственно, или при помощи дополнительной нагревательной спирали под ним. Лампа подключается к источнику тока (а) двумя зажимами (4).

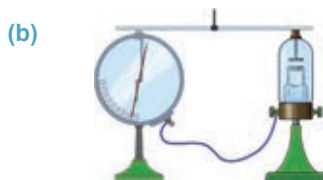


#### Ход исследования:

1. Соедините металлический стержень электрометра с одним из электродов лампы, а его основание с другим электродом (b).
2. Зарядите электрометр и наблюдайте, разряжается он или нет.
3. Присоедините зажимы вакуумной лампы к источнику тока и наблюдайте происходящее при нагревании спирали в лампе событие.

#### Обсудите результаты:

- Почему заряженный электрометр, соединенный с вакуумной лампой, не разряжается?
- Что происходит при нагревании спирали в лампе? Почему?



**Термоэлектронная эмиссия.** Электроны, находящиеся у поверхности металла, могут его покинуть, то есть “испаряться” как молекулы жидкости.

• Испарение электронов с поверхности металла называется **электронной эмиссией** (латинское слово эмиссия – “покидать” или “излучать”). При испарении электроны, собираясь вокруг металла, образуют **электронное облако**.

Одним из простых и важных видов эмиссии является **термоэлектронная эмиссия**.

• Явление испускания электронов с поверхности металла, нагретого до высокой температуры, называется **термоэлектронной эмиссией**.

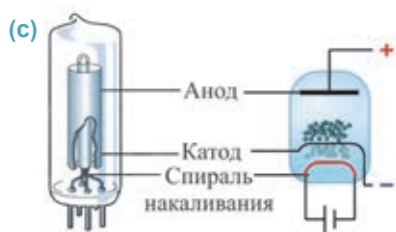
При нагревании металла кинетическая энергия свободных электронов увеличивается, в результате электроны, обладающие гораздо большей кинетической энергией, покидают металл.

**Как можно использовать явление термоэлектронной эмиссии для практических целей?**

*Если подключить к замкнутой электрической цепи устройство, в котором возникает явление термоэлектронной эмиссии, и создать направленное движение испаряющихся электронов, то это устройство обеспечит одностороннюю проводимость в этой цепи.*

**Вакуумный диод.** Сосуд (баллон), в котором создан высокий вакуум и размещены два электрода – катод и анод, работа которого основывается на явлении термоэлектронной эмиссии, называется **двухэлектродной электронной лампой** или **вакуумным диодом**.

Основное свойство вакуумного диода состоит в том, что в нем электроны могут двигаться только в одном направлении – от катода к аноду. Так, электроны, вылетевшие с поверхности нагретого катода, создают вокруг него элек-



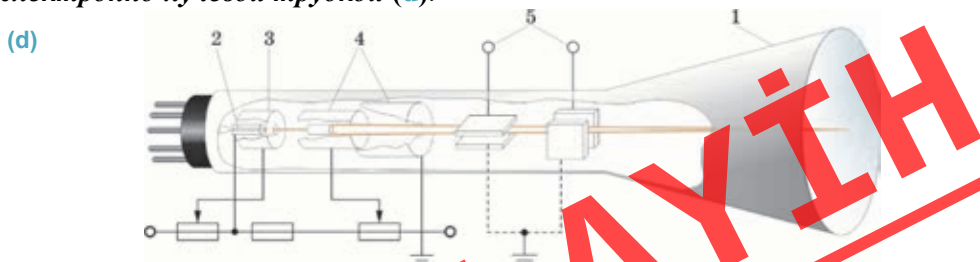
тронное облако. Если катод подсоединить к отрицательному полюсу источника тока, а анод к положительному полюсу, то под действием электрического поля, созданного между этими электродами, электроны, покинувшие катод, будут двигаться в направлении анода. Когда они достигают анода, цепь замыкается, и через нее проходит ток. На рисунке представлена

двухэлектродная вакуумная лампа в разрезе и ее условное обозначение на схемах (с).

Если же катод подсоединить к положительному, а анод к отрицательному полюсу источника тока, то испарившиеся электроны, вернувшись обратно на поверхность катода, не замыкают цепь – не обеспечивают протекание через нее тока. Следовательно, в обратном направлении электрический ток не возникает. В настоящее время ламповые диоды заменены полупроводниковыми диодами.

**Электронно-лучевая трубка.** Электронно-лучевая трубка длительное время была важной частью компьютера, радиолокатора, электронного микроскопа, телевизора и других приборов.

*Вакуумный прибор, преобразующий электрические сигналы в видимое изображение путем ускорения узкого электронного потока (пучка), называется электронно-лучевой трубкой (d).*



Электронно-лучевая трубка представляет собой конусообразный вакуумный баллон (1), широкая стенка которой играет роль экрана. В узкой части трубки расположен источник потока быстрых электронов – “электронная пушка”. Она состоит из нагреваемого катода (2), управляющего электрода цилиндрической формы (3) и анода (4). Испускаемые с нагретого катода электроны под действием электрического поля, созданного между катодом и анодом, создают ускоренный поток (пучок) электронов, направленный к аноду. Напряжение между катодом и анодом изменяется в интервале от 500 В до 20 кВ. Приобретая в таком сильном электрическом поле большую кинетическую энергию, поток электронов, пролетая сквозь анод с очень большой скоростью, попадает на экран и создает на нем свечение. Так как экран покрыт особым веществом – люминофором, которое способно светиться под действием быстрых электронов. Перпендикулярно расположенные относительно друг друга системы конденсаторов (5) отклоняют поток электронов в вертикальном и горизонтальном направлениях. При изменении по определенному закону подаваемого на отклоняющие обкладки напряжения поток электронов создает соответствующие изображения. Эти изображения наблюдают на экранах мониторов, осциллографов и телевизоров.

### Творческое применение

#### Исследование

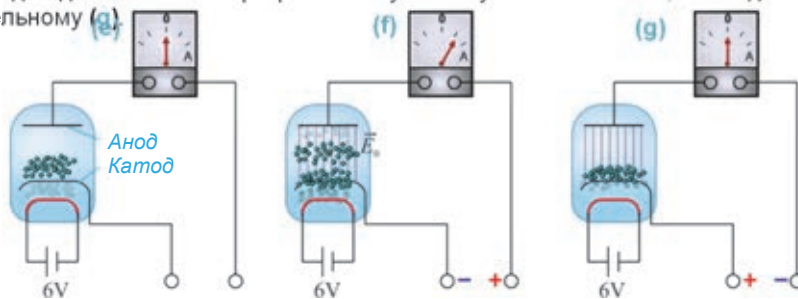
2

**В каких целях используется вакуумный диод?**

**Оборудование:** схема подключения вакуумного диода в цепь постоянного тока.

**Ход исследования:** на основании приведенных на рисунках определите, проходит или нет ток в цепи постоянного тока, к которой подключен вакуумный диод:

- катод нагревается спиралью, подключенной к источнику тока в 6 В, но концы у цепи свободные (e);
- анод подключается к положительному полюсу источника тока, а катод к отрицательному (f);
- анод подключается к отрицательному полюсу источника тока, а катод к положительному (g).



**Обсудите результаты:**

- Для чего нужна спираль накаливания в диоде?
- При подключении к каким полюсам источника тока катода и анода соответственно через электрическую цепь будет проходить ток, а при подключении к каким полюсам ток проходить не будет? Почему? Выскажите свои предположения.

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

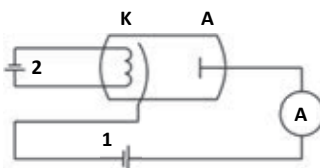
1. Термоэлектронная эмиссия ...
2. Вакуумный диод ...
3. Электронно-лучевая трубка ...

## Проверьте свои знания

1. Как можно получить свободные электроны в вакууме?
2. Зачем в ламповом диоде создается вакуум?
3. Каков принцип работы вакуумного диода? Для каких целей он используется?
4. Какой по знаку заряд имеет обкладка конденсатора, к которому отклоняется поток электронов, в электронно-лучевой трубке?

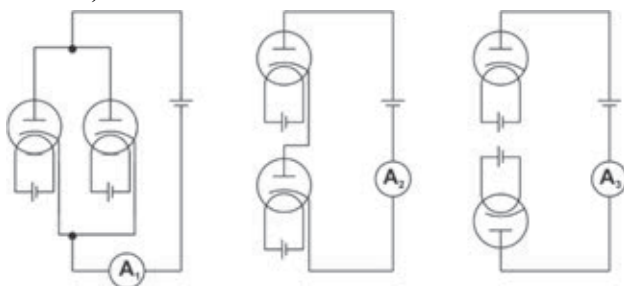
## Упражнение 1.3

1. На рисунке представлена схема подключения вакуумного диода в электрическую цепь. В каком случае в анодной цепи будет ток: если поменяем местами полюса батареи 1, или полюса батареи 2?
2. Будет ли работать вакуумный диод со сломанным стеклом в космосе? Почему?
3. На экране электронно-лучевой трубки *разные изображения создаются потоком электронов*. В результате, какого явления возникает поток электронов?



- A) Вылетая с поверхности катода в результате явления электролиза
  - B) Вылетая с поверхности катода в результате термоэлектронной эмиссии
  - C) Вылетая с поверхности анода в результате термоэлектронной эмиссии
  - D) Вылетая с поверхности катода под действием электрического поля между катодом и анодом
  - E) Вылетая с поверхности *катода* при помощи ударов электронов
4. Каково соотношение между показаниями амперметров в цепях с подключенными двумя одинаковыми диодами ( $U = \text{const}$ ) ?

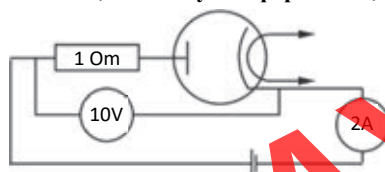
- A)  $I_1 < I_2 < I_3$
- B)  $I_1 > I_2 > I_3$
- C)  $I_1 > 0; I_2 = I_3$
- D)  $I_1 > I_2; I_3 = 0$
- E)  $I_1 < I_2; I_3 = 0$



5. В какой среде взаимодействие между заряженными частицами, находящимися на одинаковом расстоянии, больше?

A) в газе B) в жидкости C) в металле D) в вакууме E) в стекле

6. Определите сопротивление диода, используя информацию, данную на рисунке.



## 1.5

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ГАЗАХ. НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД

Название урока может вызвать удивление: ведь газы являются диэлектриками. А диэлектрики не проводят электрический ток ввиду отсутствия у них свободных носителей электрических зарядов (см.: стр.9).



- О какой электропроводности газов можно говорить в данном случае?
- При каких условиях газы могут проводить электрический ток?

## Исследование

1

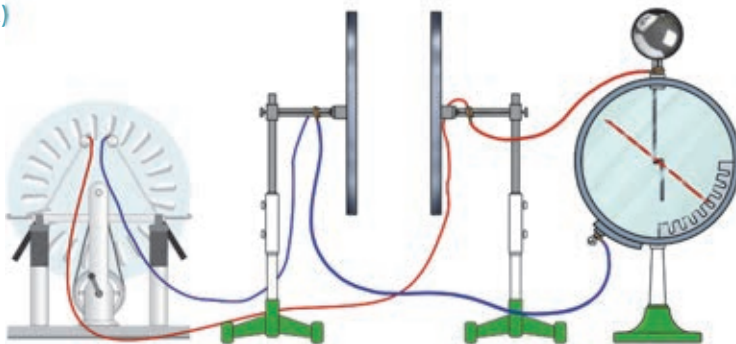
### Газы – диэлектрики!

**Оборудование:** электрофорная машина, плоский демонстрационный конденсатор, электрометр, соединительные провода.

#### Ход исследования:

1. Одна из пластин плоского конденсатора подсоединяется к стержню электрометра, а другая к зажиму на основании электрометра (а).
2. Наэлектризуйте пластины электрофорной машины электрическими зарядами с противоположными знаками. При этом электрометр показывает возникновение электрического поля между пластинами.
3. Сближайте пластины до их соприкосновения и проследите за происходящими явлениями.
4. Отодвинув пластины друг от друга, создайте между ними воздушную прослойку (воздушный конденсатор) и вновь зарядите их зарядами противоположных знаков. При этом электрометр опять показывает возникновение электрического поля между пластинами. Не прикасаясь к приборам, наблюдайте несколько минут за поведением стрелки электрометра.

(а)



#### Обсудите результаты:

- Почему при соприкосновении наэлектризованных пластин друг с другом стрелка электрометра падает до нулевого деления?
- Почему пластины воздушного конденсатора, оставаясь длительное время наэлектризованными, не разряжались, то есть стрелка электрометра не меняла своего положения?

Газ при обычных условиях является диэлектриком: атомы и молекулы, из которых он состоит, нейтральны. Газ превращается в проводник электрического тока, если в нем возникают свободные носители заряда.

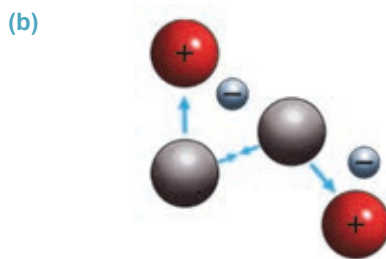
Существует два способа создания в газе свободных носителей заряда:

**1. Ионизация молекул газа под внешним воздействием.** Внешние воздействия, ионизирующие нейтральные атомы и молекулы газа, называются **ионизаторами**. Ионизаторами внешнего воздействия являются: высокая температура, излучение, “бомбардировка” высокоскоростными частицами и др.

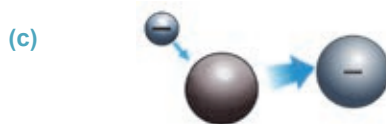
**2. Обеспечение газовой среды заряженными частицами со стороны (электронами и ионами).** Например, пламя горящей свечи обеспечивает воздух такими свободными носителями заряда, как положительные и отрицательные ионы.

**Как ионизируется газ под внешним воздействием?**

Атомы (или молекулы) нагретого до высокой температуры газа обладают такой большой скоростью, что при столкновении друг с другом распадаются на электроны и положительные ионы (**b**).



При этом процессе в газе возникают также отрицательные ионы: присоединив к себе свободные электроны, атомы нейтрального газа превращаются в отрицательные ионы (**c**). Так происходит **ионизация газа**. При помещении ионизированного газа во внешнее электрическое поле свободные электроны, положительные и отрицательные ионы приобретают упорядоченное движение и обеспечивают электропроводность газа.



- **Электрический ток в газах называется газовым разрядом.** Электрический ток в газах это упорядоченное (направленное) движение электронов, положительных и отрицательных ионов.

При прекращении действия ионизатора электроны и положительные ионы, сблизившись друг с другом, опять превращаются в нейтральные атомы. Этот процесс называется **рекомбинацией**. В результате рекомбинации зарядов газ снова превращается в диэлектрик и, несмотря на наличие внешнего электрического поля, газовый разряд прекращается.

- **Газовый разряд, происходящий под действием ионизатора, называется самостоятельным газовым разрядом.**

## Творческое применение

## Исследование

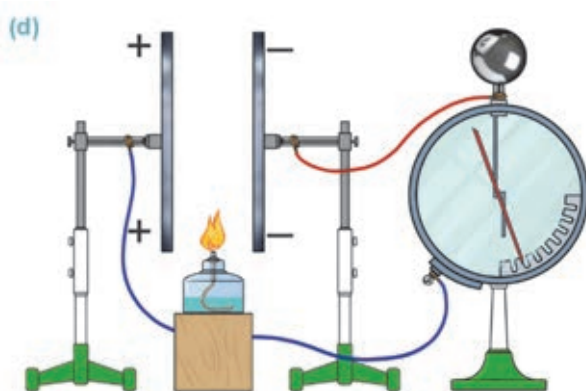
2

## Газовый разряд с помощью пламени.

**Оборудование:** электрофорная машина, плоский демонстрационный конденсатор, спиртовка (или свеча), электромметр, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Подсоединив пластины конденсатора к электромметру, зарядите их при помощи электрофорной машины.
2. Поместите пламя зажженной спиртовки в воздушную прослойку между пластинами и через несколько минут ее оттуда удалите. Проследите, как изменится электропроводность воздушной прослойки (d).

**Обсудите результаты:**

- Что наблюдается при помещении пламени спиртовки в воздушную прослойку между наэлектризованными пластинами конденсатора?
- Что происходит при удалении пламени из воздушной прослойки? Почему?

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



## • Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

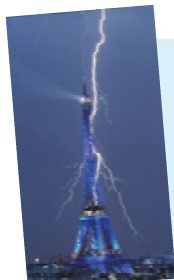
1. Газы при обычных условиях являются диэлектриками, потому что...
2. В ионизированном газе свободные носители заряда ...
3. Газовый заряд – ...
4. Несамостоятельный газовый разряд ...

## Проверьте свои знания

1. Почему газы при обычных условиях диэлектрики?
2. Что означает ионизация газа?
3. Что такое газовый разряд?
4. Как пламя спиртовки способствует электропроводности газа?
5. Что такое самостоятельный газовый разряд?

## 1.6

## САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ГАЗОВЫЙ РАЗРЯД И ЕГО ВИДЫ



В 2011 году в Париже наблюдалось интересное явление. В Эйфелеву башню ударила молния. При этом “самопроизвольное свечение” опор башни вызвало удивление наблюдателей.



• Какова причина распространения молнии в воздухе?

Наверное, некоторые из вас наблюдали в ночное время следующее удивительное атмосферное явление: самопроизвольное свечение вокруг остроконечных концов проводов высоковольтных линий в коронобразной форме.



• При каких условиях происходит свечение острых концов?

## Исследование

1

## Газовый разряд без пламени.

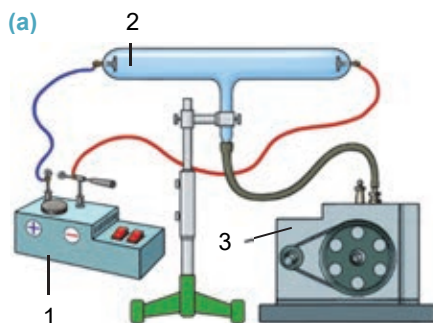
**Оборудование:** преобразователь высоковольтного постоянного тока, двухэлектродная стеклянная трубка, насос Камовского, штатив, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Закрепите стеклянную колбу (2) в штативе и соедините его электроды с полюсами преобразователя (1), а штуцер в ее середине – с насосом (3) (а).
2. Включив источник тока, создайте между электродами сильное электрическое поле и проследите явление, возникшее в воздушной прослойке между электродами.
3. Включив насос, откачайте воздух из трубки и наблюдайте возникшее явление.

**Обсудите результаты:**

- Почему в трубке с воздухом при создании между электродами сильного электрического поля даже при отсутствии внешнего ионизатора наблюдается газовый разряд?
- Что наблюдается в среде между электродами при откачивании воздуха из трубки?
- Какова причина возникновения газового разряда в трубке при отсутствии воздействия внешнего ионизатора?



При определенных условиях газы могут пропускать электрический ток даже при отсутствии внешнего ионизатора.

• *Прохождение электрического тока через газ при отсутствии внешнего воздействия называется самостоятельным газовым разрядом.*

**Как это происходит?** При нормальных условиях газ является диэлектриком, однако даже при таких условиях в газе в ничтожно малом количестве имеются свободные электроны.

Под действием сильного электрического поля каждый свободный электрон приобретает очень большую скорость, и, сталкиваясь с нейтральными атомами

или молекулами, ионизирует некоторую их часть. Образовавшиеся в результате ионизации электроны нового поколения, ускоряясь, ионизируют другие атомы и молекулы. Таким образом, в газе возникает лавинообразный поток электронно-ионного разряда: поток электронов ускоряется к аноду, а положительные ионы – к катоду (b). Однако разряд газа этим не ограничивается. Положительные ионы, движущиеся к катоду, также играют большую роль в этом процессе. Так, под действием электрического поля ионы приобретают большую кинетическую энергию и, ударяясь о катод, выбивают с его поверхности электроны, которые подключаются к лавинообразному газовому разряду.

Этот процесс называется **ударной ионизацией** (или **ионизацией ударом**).

Итак, **самостоятельный газовый разряд происходит при помощи ударной ионизации и эмиссии электронов с поверхности катода**.

Существуют четыре вида самостоятельного газового разряда: **тлеющий разряд, искровой разряд, электрическая дуга, коронный разряд**.

• **Тлеющий разряд** наблюдается при малом давлении в виде светящихся полос внутри стеклянной трубки между анодом и катодом. В проведенном исследовании вы наблюдали тлеющий разряд. Этот разряд широко применяется как источник света в рекламных трубках. Если в трубку закачать неоновый газ, он будет светиться красным цветом, а если закачать аргон, то он будет светиться сиреневатым цветом (c).

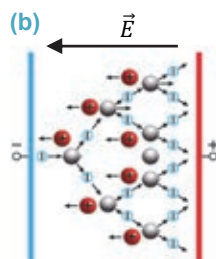
• **Искровой разряд** – возникает в воздухе между электродами при высоком напряжении и наблюдается в виде светящихся узких каналов зигзагообразной формы. В качестве примера такого разряда можно привести искрение при снятии одежды из синтетического материала, между наэлектризованными кондукторами электрофорной машины при сближении их друг с другом, а также возникновение молнии при грозе.

**Как возникает такое интересное атмосферное явление, как молния?**

• **Молния** – это самостоятельный газовый разряд, возникающий между облаком и поверхностью Земли или между двумя противоположно заряженными облаками.

Когда поднимающийся вверх воздушный поток проходит с большой скоростью через облако, облако электризуется в результате трения.

Положительные ионы воздуха собираются в верхней части облака, а отрицательные ионы воды в нижней части. Между наэлектризованными частями облака возникает сильное электрическое поле. При достижении напряжения между положительным (или отрицательным) полюсом одного облака и отрицательным (или положительным) полюсом другого облака или заряженного тела на поверхности Земли определенного значения возникает пробой в воздухе.



При этом отрицательные заряды из облака перетекают к поверхности Земли, а положительные заряды с поверхности Земли перетекают к облаку – происходит газовый разряд. При высокой скорости потока этих зарядов наблюдается сильное свечение и звук грома. Гром возникает в результате резкого расширения и взрыва воздуха (d). Температура в канале разряда достигает до  $20\,000^{\circ}\text{C}$ , сила тока до  $500\,000\text{ А}$ , а напряжение может быть до  $10^9\text{ В}$ . Светящиеся ломаные линии растягиваются на несколько километров и имеют многочисленные разветвления, это называется **молнией**.

• **Электрическая дуга** – если два угольных электрода, подключенных к источнику тока, привести в соприкосновение и удалить друг от друга, между ними наблюдается очень яркое дугообразное свечение (e). При этом разряде сила возникшего тока имеет очень большое числовое значение. Причиной электрической дуги является термоэлектронная эмиссия, происходящая с поверхности сильно нагретого катода. Дуговой разряд используется при электросварочных работах и в кинопроекторах.



• **Коронный разряд** – при коронном разряде светящаяся область напоминает корону, он образуется при атмосферном давлении вблизи острых частей проводника с большим электрическим зарядом. Ионизация воздуха на концах этих проводников наблюдается в форме светящейся короны. Наиболее часто коронный разряд возникает около высоковольтных линий передач.

• **Плазма** – частично или полностью ионизированный газ.

Плазма в целом является нейтральным газом, потому что количество положительных и отрицательных зарядов в ней практически совпадает. Плазма может быть низкотемпературной и высокотемпературной. Она обладает высокой электропроводностью. По этому свойству плазма очень близка к сверхпроводникам. Плазма широко распространена во Вселенной: звезды и их атмосфера состоят из высокотемпературной плазмы.

## Творческое применение



### Исследование

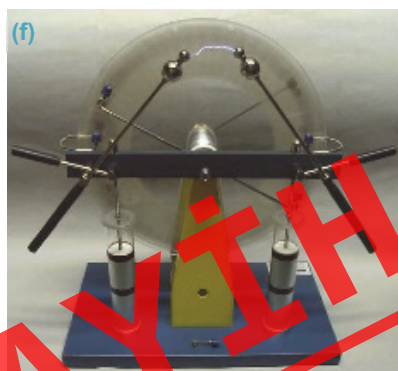
2

#### Какой это разряд?

**Оборудование:** электрофорная машина.

**Правила безопасности:** при работе с электрофорной машиной управлять кондукторами нужно только держась за ее пластмассовые ручки.

**Ход исследования:** 1. Расположите кондукторы электрофорной машины на расстоянии 3-5 см друг от друга (f). 2. Приведите электрофорную машину в действие, наэлектризуйте в течение 10 секунд кондукторы и проследите возникшее явление.





## Исследование 2

### Обсудите результаты:

- Какой разряд наблюдался в эксперименте?
- Назовите основные носители заряда в этом разряде.

### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



### Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. Самостоятельный газовый разряд ... ;
2. Ударная ионизация ... ;
3. Существует четыре вида самостоятельного газового разряда: ... ;
4. Плазма ...

### Проверьте свои знания

1. Какие газовые разряды называются самостоятельными?
2. Как происходит ударная ионизация?
3. Какой газовый разряд происходит при атмосферном давлении?
4. Чем отличается тлеющий разряд от электрической дуги?
5. Как происходит искровой разряд?

## Упражнение 1.4

1. Дождь во время грозы застал вас на открытой местности. Поблизости находится высокий дуб. Можно ли спрятаться от дождя под ним? Почему?
2. Носители электрических зарядов в газах...
  - А) электроны, положительные и отрицательные ионы
  - В) только положительные ионы
  - С) только электроны
  - Д) только отрицательные ионы
  - Е) только положительные и отрицательные ионы
3. Электрод это ....
  - А) жидкость, пропускающая электрический ток
  - В) носители электрического заряда
  - С) металлический проводник
  - Д) газ, пропускающий электрический ток
  - Е) устройство освещения
4. При помещении пламени керосинки в электрическое поле оно сразу разветвляется. Почему?
5. Какой газовый разряд применяется при электросварке?
  - А) Тлеющий разряд
  - В) Искровой разряд
  - С) Коронный разряд
  - Д) Электрическая дуга
  - Е) Несамостоятельный разряд

## 1.7

## Полупроводники. СОБСТВЕННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Инженеры Университета штата Юта (США) разработали новый тип плоского полупроводникового материала. Электроны и положительные заряды (дырки) проходят через такой полупроводниковый материал, который состоит из оксида олова толщиной всего один атомный диаметр, быстрее, чем кремниевые (или германиевые) полупроводники. Это позволяет создавать высокоскоростные электронные устройства нового поколения (компьютеры, мобильные телефоны, высокоскоростные интернет-системы и т. д.).

Источник: <http://rdd.me/aguWg5lz>



- Почему ученые и инженеры исследуют новые типы полупроводников?
- Как электропроводность полупроводников отличается от электропроводности других веществ?

### Исследование

1

**Определение химических элементов, относящихся к полупроводниковым веществам.**

**Оборудование:** таблица “Периодической системы химических элементов”.

**Ход исследования:**

1. Определите химические элементы из “Периодической системы химических элементов”, которые можно отнести к полупроводниковым веществам и запишите их условные обозначения в рабочем листке по порядку.
2. Основываясь на знаниях, полученных из курса химии, отметьте для каждого определенного вами элемента важные, на ваш взгляд, его химические свойства.

**Обсудите результаты:**

- Какие химические элементы вы отнесли к полупроводниковым веществам? Почему?
- На основании каких химических связей были сформулированы основные свойства определенных вами химических элементов?

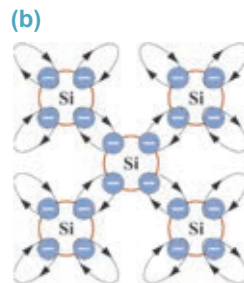
**Чем внутреннее строение полупроводников отличается от металлов и диэлектриков?** К полупроводникам относятся: 12 элементов средних групп (IV, V и VI групп) “Периодической системы химических элементов” ((a), в таблице клетки, в которых расположены эти элементы, окрашены в розовый цвет); соединения элементов из II и IV, III и V, III и VI групп; можно сказать, все неорганические вещества.

Связь с ядром валентных электронов у полупроводников – элементов средней группы – крепче, чем у валентных электронов металлов, однако слабее, чем у валентных электронов с ядрами атомов диэлектриков. Свойства полупроводниковых веществ формируются на основании ковалентной (или парноэлектронной) химической связи.

(a)

| II       | III      | IV       | V        | VI       | VII      | VIII |
|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------|
| 4<br>Be  | 5<br>B   | 6<br>C   | 7<br>N   | 8<br>O   |          |      |
| 13<br>Al | 14<br>Si | 15<br>P  | 16<br>S  | 17<br>Cl |          |      |
| 31<br>Ga | 32<br>Ge | 33<br>As | 34<br>Se | 35<br>Br |          |      |
| 49<br>In | 50<br>Sn | 51<br>Sb | 52<br>Te | 53<br>I  | 54<br>Xe |      |
|          | 82<br>Pb | 83<br>Bi | 84<br>Po | 85<br>At |          |      |

**Как возникает эта связь?** В качестве примера рассмотрим кристалл кремния. Кремний элемент IV группы. На его внешней электронной оболочке имеются 4 валентных электрона. В твердом состоянии каждый атом кремния создает кристаллическую решетку с четырьмя “соседними” атомами. При этом валентные электроны каждого атома кристаллической решетки создают общие орбиты (на каждой орбите по два электрона) с валентными электронами соседних атомов. “Обобщенные” электроны, соединяя атомы кристаллической решетки друг с другом, создают между ними ковалентную, так называемую *парноэлектронную связь* (b).



### **Природа собственной электропроводимости полупроводников.**

*Полупроводник – вещество, свойства которого чувствительны к внешним воздействиям. Если полупроводник чистый (не имеет в составе посторонних примесей), то его проводимость называют собственной.*

Электропроводность бывает двух видов:

**1. Электронная или n-типа проводимость** – электропроводность, возникающая при движении свободных электронов в чистых полупроводниках. *n* – начальная буква латинского слова *negativ* (“отрицательный”).

При обычных условиях (например, при комнатной температуре) электрическое сопротивление полупроводников больше сопротивления металлов, потому что количество свободных электронов в полупроводниках меньше, чем в металлах. При подключении такого полупроводника в электрическую цепь свободные электроны в нем, упорядоченно двигаясь в кристаллической решетке, создают электронную проводимость – он проводит электрический ток, хотя и слабый. Самой хорошей электронной проводимостью обладают металлы.

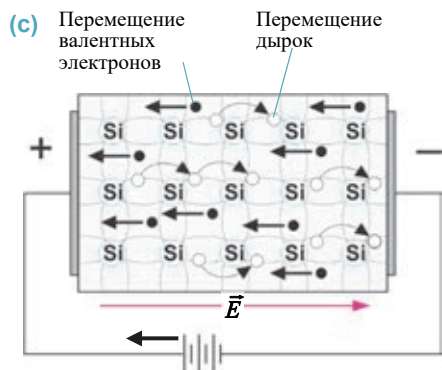
**2. Дырочная или p-типа проводимость** – это электропроводность, возникающая при движении дырок в чистых полупроводниках. *p* – начальная буква латинского слова *pozitiv* (“положительный”).

Подвергаясь внешнему воздействию, например, при нагревании, часть валентных электронов у полупроводников приобретает большую кинетическую энергию. В результате в кристалле полупроводника происходят одновременно два явления:

1) валентные электроны за счет полученной дополнительной энергии разрывают ковалентную связь и покидают атомы. В результате количество свободных электронов в кристалле резко увеличивается, а сопротивление полупроводников резко уменьшается;

2) когда валентный электрон покидает атом, в ковалентной связи возникает “пустое” место, называемое **дыркой**. В результате атом превращается в положительный ион. Однако разорвавшие ковалентную связь валентные электроны соседних атомов перепрыгивают в эту дырку и заполняют ее – связь восстанавливается, положительный ион вновь превращается в нейтральный атом. Но перепрыгнувший электрон на своем прежнем месте создает новую дырку и положительный ион.

Таким образом, возникающие дырки, которые образуются вследствие замещающих друг друга последовательных прыжков валентных электронов, приводят в “движение” и положительные ионы по всему кристаллу.



При соединении полупроводникового кристалла в электрическую цепь постоянного тока свободные валентные электроны совершают упорядоченное “движение” против направления вектора напряженности поля, а положительно заряженные дырки совершают упорядоченное “движение” в направлении вектора напряженности поля – возникает электрический ток (с). Такова природа собственной проводимости полупроводников.

• Собственная электропроводность чистых полупроводников создается за счет **равного количества** свободных электронов и дырок.

### Творческое применение

#### Исследование

2

**Задача.** Сравните природу электропроводности полупроводников с металлами и завершите данную таблицу.

| Природа электропроводности                             | Металлы                                                   | Полупроводники |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|
| Внутреннее строение                                    | ...                                                       | ...            |
| Носители электрического заряда                         | ...                                                       | ...            |
| Зависимость электропроводности от температуры          | При увеличении температуры электропроводность уменьшается | ...            |
| Электропроводность при температуре абсолютного нуля    | ...                                                       | ...            |
| Происходит ли перенос вещества при электропроводности? | ...                                                       | ...            |

**Обсудите результаты:**

• В чем сходство и отличие электропроводности полупроводников и металлов?

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

• **Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.**

1. К полупроводниковым веществам относятся – ...
2. Собственная электропроводность полупроводников – ...
3. Электронная проводимость в полупроводниках – ...
4. Дырочная проводимость в полупроводниках – ...

#### Проверьте свои знания

1. Какие вещества называются полупроводниками?
2. К какой группе элементов относятся полупроводники из “Периодической системы химических элементов”? Чем отличаются эти элементы от элементов других групп?
3. Что такое ковалентная или парно электронная связь?
4. Упорядоченное движение каких носителей зарядов создает в полупроводниках электрический ток?

## 1.8

## ПРИМЕСНАЯ ПРОВОДИМОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

При изучении свойств полупроводников было определено, что их электропроводность полностью отличается от электропроводности других сред, таких как металлы, жидкости, газы и вакуум. Было определено, что электропроводность полупроводников по сравнению с другими средами более чувствительна к внешнему воздействию: в результате этих воздействий проводимость резко меняется. Одно из таких внешних воздействий – добавление в состав полупроводников посторонних веществ – примесей.

• Что необычного происходит с электропроводностью чистого полупроводника при добавлении в его состав примеси?

## Исследование

1

Как изменяется количество носителей заряда в чистых полупроводниках при добавлении примеси?

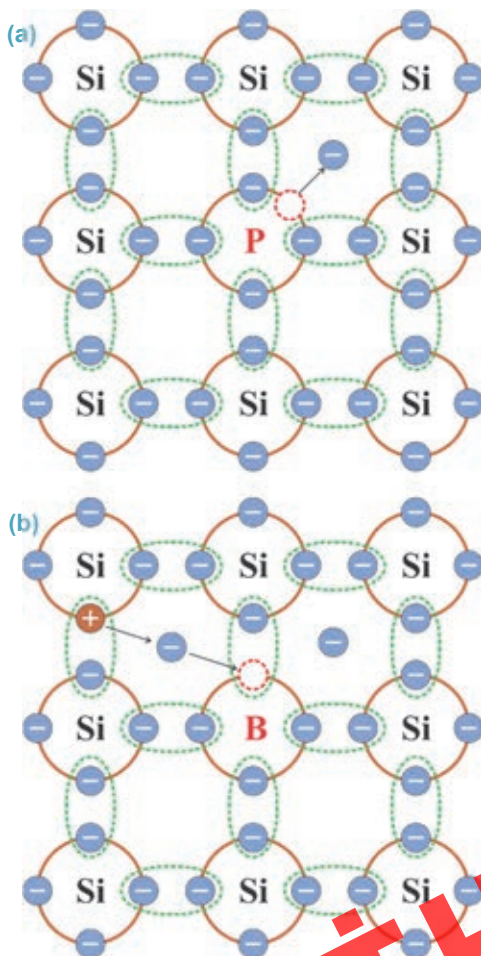
**Оборудование:** схема ковалентной связи между атомами соединений Si-P и Si-B.

**Ход исследования:**

1. Определите изменения, произошедшие в чистом кристалле полупроводника (Si – элемент IV группы) при добавлении в качестве примеси элемента V группы фосфора (P) (a).
2. Определите изменения, произошедшие в кристалле (Si) при добавлении в качестве примеси элемента III группы бора (B) (b).

**Обсудите результаты:**

- Сколько валентных электронов у элемента V группы фосфора (P)?
- Количество каких свободных носителей заряда увеличится при добавлении примеси фосфора (P) в кристалл кремния (Si)? Почему?
- Сколько валентных электронов у элемента III группы – бора (B)?
- Как изменится количество свободных носителей заряда при добавлении в качестве примеси бора (B) в кристалл кремния (Si)?



При добавлении примеси в чистый полупроводник в ничтожном количестве его проводимость резко возрастает.

Причина этого заключается в том, что наряду с собственной проводимостью в полупроводнике возникает и примесная проводимость. Если число валентных электронов добавленного атома примеси будет больше числа валентных электронов атома полупроводника, то эта примесь называется **донорной примесью** (латинское слово *donor* означает “отдаю”). Если же число валентных электронов добавленного атома примеси будет меньше числа валентных электронов атома полупроводника, то эта примесь называется **акцепторной примесью** (латинское слово *akseptor* – “принимаю”).

**Донорная примесь** обеспечивает полупроводниковые кристаллы дополнительными электронами: с легкостью отдавая свои валентные электроны, она увеличивает количество свободных электронов в полупроводнике.

Например, при добавлении в кристалл кремния примеси пятивалентного элемента – фосфора, четыре валентных электрона создают ковалентную связь с соседними атомами кремния. Пятый же электрон фосфора вращается около атома. Однако он, имея слабую связь с атомом, с легкостью покидает его и становится свободным (см.: **a**).

Если в кристалле 4-валентного кремния некоторые атомы будут заменены атомами 5-валентного фосфора, то от каждого атома примеси (фосфора) в результате теплового движения освободится один электрон. Под действием внешних факторов электроны атомов кремния могут покинуть ковалентные связи, тогда на их месте образуются дырки. Тогда при создании электрического поля все эти заряды придут в движение и возникнет электрический ток. В таком полупроводнике основными носителями заряда будут электроны, а дырки будут не основными.

• **Полупроводник с донорной примесью** обладает в основном электронно-примесной проводимостью (проводимость *n*-типа).

• **Акцепторная примесь** обеспечивает полупроводниковые кристаллы дополнительными дырками: присоединяя к себе дополнительные валентные электроны, увеличивает количество дырок в полупроводнике.

Например, при добавлении в кристалл кремния примеси трехвалентного бора валентные электроны примеси создают только три пары электронных связей с соседними атомами кремния. Для создания же четвертой пары электронной связи не хватает одного электрона, и на его месте образуется дырка. Сюда может перейти один валентный электрон с соседнего атома кремния. В этом случае за счет валентного электрона, полученного от соседнего атома, трехвалентный атом превращается в отрицательный ион, связь завершается. Но в соседнем атоме, отдавшем электрон, возникает дырка (см: **b**).

Итак, трехвалентная примесь, забирая электрон у атома кремния, создает в кристалле дополнительные дырки. В результате количество дырок превосходит число электронов. Поэтому дырки являются основными носителями заряда в полупроводниках с акцепторной примесью, а неосновными носителями заряда являются электроны.

• **Полупроводник с акцепторной примесью** обладает в основном дырочной примесной проводимостью (проводимость *p*-типа).

## Творческое применение

## Исследование 2

**Решите задачу, используя приведенную ниже информацию:**

Известно, что в объеме  $1\text{ м}^3$  кристалла германия имеется приблизительно  $10^{28}$  атомов. При комнатной температуре концентрация свободных электронов в чистом германии составляет  $n = 10^{17}\text{ м}^{-3}$ . В кристалл германия добавляется примесь пентавалентного атома мышьяка в количестве до 1% (до 0,01 части).

Это означает, что в каждый  $1\text{ м}^3$  межатомного пространства кристалла германия внесено  $10^{26}$  атомов примеси. Если учесть, что каждый атом мышьяка создает один свободный электрон, то концентрация таких электронов в кристалле будет  $n = 10^{26}\text{ м}^{-3}$ . Этот показатель в  $10^9$  раз, то есть в миллиард раз больше, чем значение концентрации электронов в чистых кристаллах германия.

**Задача.** Какой тип примесного полупроводника образуется при добавлении в чистый четырехвалентный кристалл германия 0,8% примеси атомов трехвалентного индия (In)? Насколько отличается количество основных носителей заряда в этом полупроводнике от количества соответствующих носителей заряда в чистом германии?

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• **Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.**

1. Донорные примеси – ...
2. Акцепторные примеси – ...
3. Полупроводники с донорной примесью – ...
4. Полупроводники с акцепторной примесью – ...

## Проверьте свои знания

1. Как создается электронная проводимость в примесном полупроводнике?
2. Как создается дырочная проводимость в примесном полупроводнике?
3. Как примесь влияет на электрическое сопротивление полупроводника?
4. Какая примесная проводимость возникнет, если в германий добавить, соответственно, мышьяк, бор или фосфор?

**LAYIN**

## 1.9

**p-n ПЕРЕХОД. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД**

(Дополнительный материал для чтения)

Основными элементами интегральных электрических схем в сложных электрических приборах (мобильный телефон, ноутбук, микроволновая печь, стиральная и посудомоечная машины, скороварка, телевизор и другие) являются полупроводниковые приборы.

Полупроводниковые приборы играют незаменимую роль в современной науке, технике и автоматизации производственных участков, роботостроении, радиоэлектронике и других сферах.



• Почему полупроводниковые приборы обладают такими обширными сферами применения?

• В чем преимущество полупроводников над другими проводниками?

**Исследование****1****Почему не проходит электрический ток?**

**Оборудование:** источник постоянного тока (4 В), амперметр, полупроводниковый диод (из набора приборов “Электрический ток в полупроводниках”), ключ, соединительные провода.

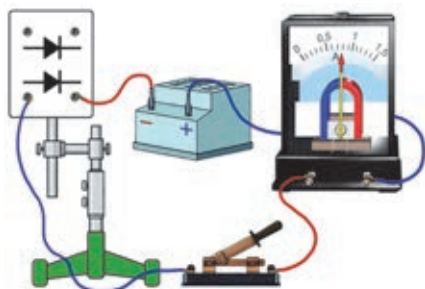
**Ход исследования:**

1. Соединив зажимы полупроводникового диода с электрической цепью, замкните ключ и выясните, протекает или нет через эту цепь электрический ток (а).
2. Не изменяя цепь, поменяйте местами соединительные провода на зажимах диода и проследите возникшее явление.

**Обсудите результаты:**

- В каком случае полупроводниковый диод проводит электрический ток?
- К какому выводу приводит исследование?
- Какую проводимость имеет полупроводниковый диод: собственную или примесную?

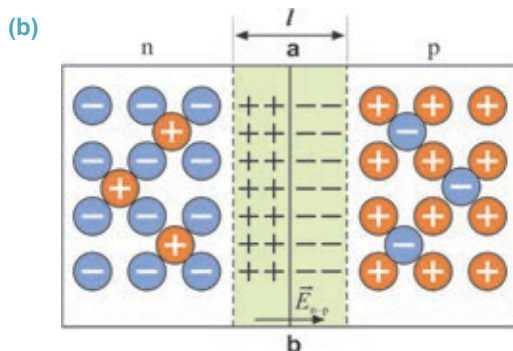
(а)



**Электронно-дырочный переход (или p-n переход).** При соприкосновении полупроводника p-типа с полупроводником n-типа на поверхности их соприкосновения возникнет электронно-дырочный переход (или p-n переход). При

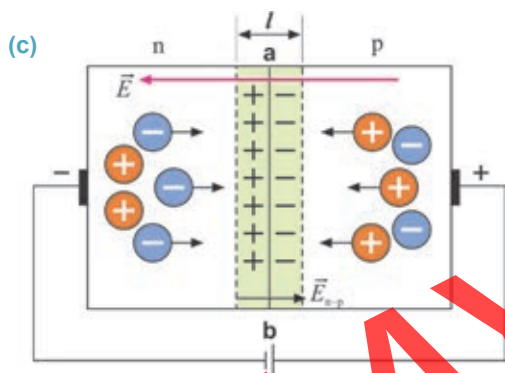
этом электроны из кристалла n-типа и дырки из кристалла p-типа приходят в движение и совершают диффузию в противоположные стороны от границы соприкосновения.

В результате в n-части границы соприкосновения увеличивается количество положительного заряда, а в p-части – отрицательного заряда, *то есть в p-n переходе полупроводникового кристалла возникает двойной слой разноименных зарядов (b).*

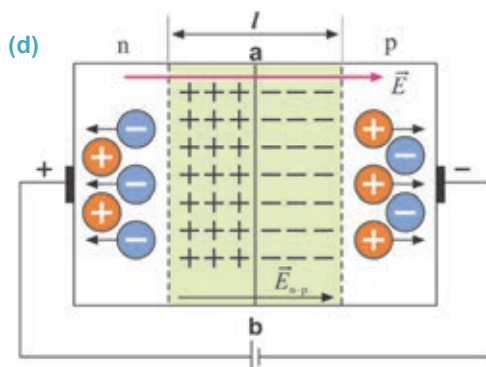


Электрическое поле ( $\vec{E}_{n-p}$ ), возникающее между зарядами двойного слоя, препятствует дальнейшему переходу электронов через границу соприкосновения кристаллов **ab** из n-части в p-часть, а дырок из p-части в n-часть. При подключении кристалла, имеющего p-n переход, в цепь постоянного тока, он будет хорошо проводить ток только в одном направлении. Это направление установить не трудно.

**Прямой переход.** Предположим, что кристалл n-типа подсоединен к отрицательному полюсу источника тока, а кристалл p-типа – к положительному. При этом под действием электрического поля, создаваемого источником тока, электроны кристалла n-типа и дырки кристалла p-типа будут двигаться навстречу друг другу к границе **ab**. Электроны, пройдя через границу **ab**, заполняют дырки, уменьшая его толщину, а значит, и общее электрическое сопротивление кристалла (c). Такой p-n переход в полупроводниковых кристаллах называется **прямым переходом**.

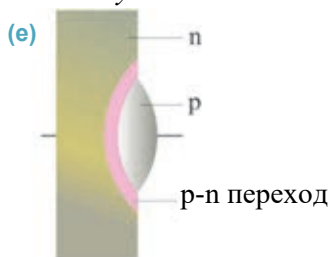


**Обратный переход.** Предположим, что кристалл n-типа подсоединен к положительному полюсу источника тока, а кристалл p-типа – к отрицательному (d).

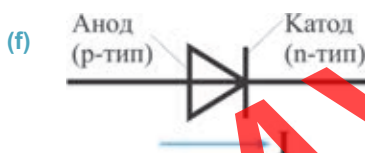


В этом случае вектор напряженности электрического поля, создаваемого источником тока, совпадает с напряженностью электрического поля двойного слоя. Под влиянием этого внешнего электрического поля электроны кристалла n-типа и дырки кристалла p-типа движутся во взаимно противоположных направлениях – от границы **ab** к противоположным концам кристалла. В результате ширина двойного слоя на границе **ab**, а значит, и общее электрическое сопротивление кристалла увеличивается. Можно сказать, электрический ток через цепь не проходит (см.: схема d). Такой p-n переход в полупроводниковых кристаллах называется **обратным переходом**.

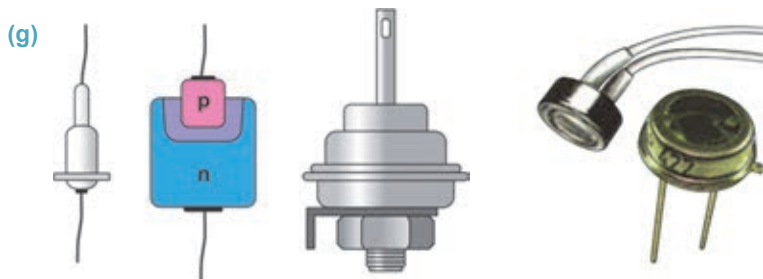
• **Полупроводниковый диод** – это прибор, состоящий из одного p-n перехода и двух контактов для подключения его в электрическую цепь (e).



Полупроводниковый диод изготавливается из кристаллов германия или кремния, имеющих проводимость n-типа. На поверхность кристалла припаивается капля индия. Благодаря диффузии атомов индия в основной кристалл на данном участке кристалла создается область проводимости p-типа. На границе областей кристаллов n- и p-типа возникает p-n переход. Контакт, припаянный к кристаллу индия, является анодом, а контакт, припаянный к кристаллу кремния (или германия), является катодом. Таким образом, полупроводниковый диод, имеющий p-n переход, проводит постоянный ток только в одном направлении. Условное обозначение полупроводникового диода на схеме показано ниже (f).



Для предохранения от внешних механических воздействий и влажности полупроводниковые диоды помещают в герметичный корпус из металла или пластмассы. Полупроводниковый диод по сравнению с вакуумным диодом имеет ряд преимуществ: миниатюрные размеры, экономный расход электрической энергии, большой срок годности при эксплуатации (g).



### Творческое применение

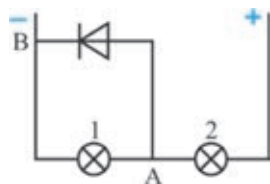
#### Исследование 2

##### Какая из ламп светится ярче?

На рисунке изображена часть цепи, состоящая из полупроводникового диода и двух ламп.

##### Обсудите результаты:

- Какая из ламп светится ярче? Почему?



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



#### Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. Электронно-дырочный переход (или p-n переход) – ...
2. Прямой переход – ...
3. Обратный переход – ...
4. Полупроводниковый диод – ...

#### Проверьте свои знания

1. Что такое электронно-дырочный переход?
2. Как возникает двойной слой на границе соприкосновения двух полупроводниковых кристаллов разных типов?
3. Какую роль играет двойной слой в p-n переходе на границе соприкосновения двух полупроводниковых кристаллов?
4. Каково основное свойство p-n перехода?
5. На чем основывается принцип работы полупроводникового диода?

- Знаете ли вы, что электрическая энергия в космических аппаратах, совершающих длительное движение по орбите вокруг Земли и в межпланетном пространстве, получается с помощью полупроводниковых приборов?
- Знаете ли вы, что последние модели мобильных телефонов оборудованы такими полупроводниковыми приборами, которые обеспечивают дополнительную электрической энергией телефоны при разрядке их аккумуляторов?



• Благодаря каким свойствам полупроводников возникают такие чудесные возможности?



### Исследование

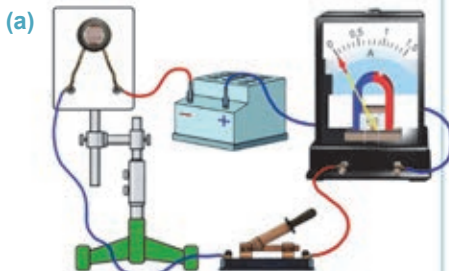
1

#### Полупроводник, изменяющий силу тока в электрической цепи.

**Оборудование:** источник постоянного тока (4 В), амперметр, фоторезистор (из набора приборов “Электрический ток в полупроводниках”), ключ, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Соедините приборы последовательно, как показано на рисунке (а).
2. Закройте поверхность фоторезистора книгой, чтобы не падал свет, замкните ключ и определите, проходит или нет электрический ток через цепь.
3. Удалите книгу с поверхности фоторезистора при замкнутой цепи, пронаблюдайте возникшее явление.



**Обсудите результаты:**

- Какой вывод можно сделать о зависимости сопротивления полупроводникового фоторезистора от интенсивности освещения?
- Как объясните принцип работы фоторезистора?

**Терморезистор и фоторезистор** – это простые полупроводниковые приборы, потому что состоят только из одного полупроводника, обладающего собственной проводимостью.

*Термисторы могут увеличивать или уменьшать ток в электрической цепи путем изменения их сопротивления под воздействием тепла, а фоторезисторы путем изменения их сопротивления под воздействием света.*

Так, под воздействием тепла и освещения валентные электроны полупроводникового кристалла вырываются из ковалентной связи. В результате число свободных электронов и дырок в кристалле увеличивается, электрическое сопротивление полупроводников уменьшается и повышается их проводимость.

• **Терморезистор** – это резистор, который с изменением температуры может в широком интервале менять свое сопротивление. На рисунке показаны внешний вид терморезистора и его условное обозначение в электрических схемах (b).

• **Фоторезистор** – это резистор, который с изменением интенсивности освещения может в широком интервале менять свое сопротивление. На рисунке показаны внешний вид фоторезистора и его условное обозначение в электрических схемах (c).

Высокая чувствительность терморезисторов и фоторезисторов широко используется в современной радиоэлектронике, робототехнике, телемеханике и других областях науки и техники.

**Термоэлемент и фотоэлемент** – это полупроводниковые приборы, изготовленные из нескольких примесных полупроводников. Термо- и фотоэлементы могут быть источниками электрического тока.

**Полупроводниковый термоэлемент** состоит из отдельных полупроводниковых кристаллов **p- и n-типа** (d).

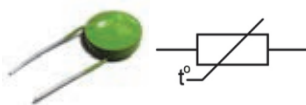
Верхние концы этих кристаллов прикрепляются к теплопроводящей пластине (показанной желтым цветом), а нижние концы – к разным металлическим контактам. Эти контакты (показанные зеленым цветом) охлаждаются воздухом. Под воздействием переданного металлической пластине количества теплоты увеличивается число дырок в полупроводнике p-типа и электронов в полупроводнике n-типа. Эти частицы, отталкиваясь от одноименных частиц в кристалле, начинают двигаться в нижнюю часть кристалла.

В результате на соединяющих нижние концы кристаллов контактах собираются заряды противоположных знаков – возникает экологически чистый источник тока.

**Полупроводниковый фотоэлемент** – состоит из кристалла кремния p-типа с примесью в составе, на поверхности которого создан участок перехода p-типа (e).

Как вы знаете, на контактах p-n перехода в результате диффузии электронов и дырок возникают противоположные по знаку заряды. Поэтому эти контакты можно рассматривать как кратковременные источники тока. Если p-n переход непрерывно освещать, то в нем непрерывно будут возникать новые пары электрон-дырка – получается непрерывно работающий экологически чистый источник тока, например, солнечная батарея.

(b)



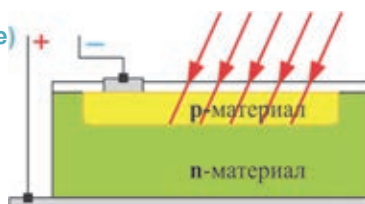
(c)



(d)



(e)



Термо- и фотоэлементы – основные источники тока, используемые во многих приборах на Земле и в космосе.

### Творческое применение

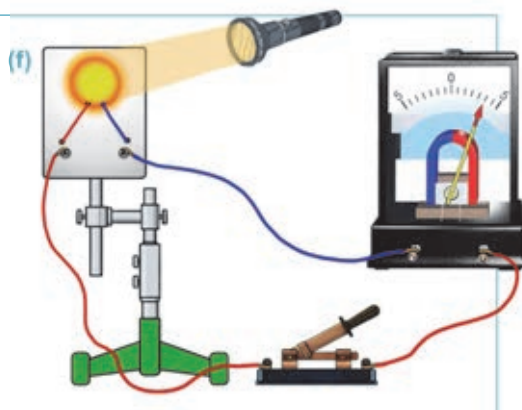
#### Исследование 2

##### Проверим работу фотоэлемента.

**Оборудование:** гальванометр, фотоэлемент (из набора приборов “Электрический ток в полупроводниках”), ключ, карманный фонарь, соединительные провода.

##### Ход исследования:

1. Соберите цепь, состоящую из фотоэлемента, ключа и гальванометра (f).
2. Выясните, возникает ток в цепи при замыкании ключа или нет.
3. Осветите фонарем поверхность фотоэлемента при замкнутом ключе и наблюдайте возникшее явление.



##### Обсудите результаты:

- Что наблюдается при освещении поверхности фотоэлемента?
- Как объясните причину возникшего явления?

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

Перепишите в рабочий листок незавершенные предложения и закончите их.

1. Терморезистор – ...
2. Термоэлемент – ...
3. Фоторезистор – ...
4. Фотоэлемент – ...

#### Проверьте свои знания

1. Чем отличаются друг от друга резистор и терморезистор?
2. На каком свойстве полупроводника основывается принцип работы терморезистора?
3. Чем отличаются друг от друга термоэлемент и терморезистор?
4. Чем отличаются друг от друга фоторезистор и фотоэлемент?
5. На каком свойстве полупроводника основывается принцип работы фоторезистора?
6. Почему фотоэлемент считается экологически чистым источником тока?

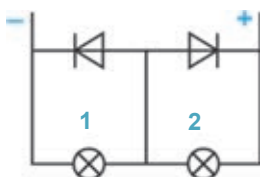
LAYIH

**Упражнение 1.5**

1. Чем отличаются друг от друга полупроводниковая дырка и положительный ион? Ответ обоснуйте.
2. Каким типом проводимости обладает полупроводник, если число электронов и дырок в нем одинаково?

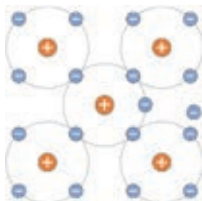
|                  |                |
|------------------|----------------|
| 1 – p-тип;       | A) только 3    |
| 2 – n-тип;       | B) только 4    |
| 3 – собственный; | C) 1, 2, 3 и 4 |
| 4 – примесный.   | D) 1 и 2       |
|                  | E) 3 и 4       |

3. Какая из указанных на рисунке ламп светится (какая не светится)? Почему?

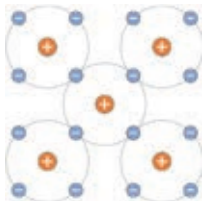


4. На рисунках схематически показано взаимное расположение валентных электронов атомов (a и b). Какие типы проводимости соответствуют этим полупроводникам?

(a)



(b)



## 1.11

# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

## (УРОК-ПРЕЗЕНТАЦИЯ)

Подготовьте презентацию на тему “Электрический ток в различных средах”. При подготовке презентации можно воспользоваться данным планом.

### План подготовки презентации.

Обеспечение: одна из программ *Microsoft Office PowerPoint*, *ActivInspire* электронной доски *Promethean* или *MimioStudio*.

В презентации используйте нижеприведенные ключевые слова и ключевые предложения.

### Ключевые слова и ключевые предложения.

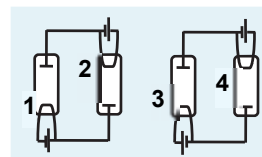
|                                                          |                              |                                   |                                                                      |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 1. ион                                                   | 12. электрическая дуга       | 23. акцепторная примесь           | 34. электронное облако                                               |
| 2. свободные электроны                                   | 13. несамостоятельный разряд | 24. анод                          | 35. сверхпроводимость                                                |
| 3. примесь                                               | 14. диэлектрик               | 25. электроды                     | 36. ударная ионизация                                                |
| 4. дырки                                                 | 15. полупроводник            | 26. искровой разряд               | 37. электролиз                                                       |
| 5. с увеличением температуры увеличивается сопротивление | 16. проводник                | 27. собственная проводимость      | 38. вакуум                                                           |
| 6. рекомбинация                                          | 17. донорная примесь         | 28. дуговой разряд                | 39. электронно-лучевая трубка                                        |
| 7. ковалентная связь                                     | 18. самостоятельный разряд   | 29. валентные электроны           | 40. резкое изменение сопротивления в результате внешнего воздействия |
| 8. уменьшение сопротивления при нагревании               | 19. эмиссия                  | 30. молния                        | 41. односторонняя проводимость                                       |
| 9. проводник                                             | 20. электролит               | 31. вакуумный диод                | 42. проводимость n-типа                                              |
| 10. проводимость p-типа                                  | 21. коронный разряд          | 32. катод                         | 43. положительный и отрицательный ион                                |
| 11. кристаллическая решетка                              | 22. термоэлектронная эмиссия | 33. электролитическая диссоциация | 44. основные и не основные носители заряда                           |

|           |                                                                          |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1-й слайд | Электрический ток в различных средах<br>Подготовил (имя, фамилия, класс) |
| 2-й слайд | • Электрический ток в металлах                                           |
| 3-й слайд | • Электрический ток в электролитах                                       |
| 4-й слайд | • Электрический ток в вакууме                                            |
| 5-й слайд | • Электрический ток в газах                                              |
| 6-й слайд | • Электрический ток в полупроводниках                                    |

## Обобщающие задания

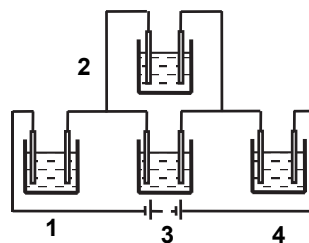
1. На рисунке представлены схемы двух электрических цепей с подключенными вакуумными диодами. Через какую лампу пройдет электрический ток?

- А) только 2 В) только 4 С) 3 и 4 D) 1 и 4 Е) только 3



2. На рисунке представлена схема электрической цепи, состоящая из четырех электролитических ванн с водным раствором  $\text{CuSO}_4$ . В какой ванне и на поверхности какого электрода происходит выделение меди?

- А) только на поверхности катода в ванне 2;  
В) на поверхности катода в ваннах 2 и 3;  
С) на поверхности катодов во всех ваннах;  
D) на поверхности катодов в ваннах 1, 3 и 4;  
Е) на поверхности катодов в ваннах 1 и 4.



3. Напишите в ниже приведенных выражениях в скобках букву «П», если оно правильное, и букву «Л», если оно ложное.

- ( ) Основной причиной возникновения дугового разряда является высокое напряжение между электродами.
- ( ) Все жидкости проводят электрический ток.
- ( ) При прохождении электрического тока через раствор электролита происходит перенос вещества.
- ( ) В примесных полупроводниках основными носителями заряда могут быть или электроны, или дырки.
- ( ) В полупроводниках с донорной примесью преобладает электронная проводимость.
- ( ) Вакуум это среда, хорошо проводящая электрический ток.
- ( ) Искровой газовый разряд происходит при низких давлениях.
- ( ) Чистая вода является диэлектриком.
- ( ) Лимонная вода проводит электрический ток.
- ( ) В полупроводниках с акцепторной примесью преобладает электронная проводимость.

4. Электрический ток возникает:

- А) в результате упорядоченного движения ионов – 2 и 4;  
в результате упорядоченного движения электронов – 1, 3 и 4
  - В) в результате упорядоченного движения ионов – 2 и 3;  
в результате упорядоченного движения электронов – 1 и 4
  - С) в результате упорядоченного движения ионов – 4;  
в результате упорядоченного движения электронов – 1, 2, 3 и 4
  - Д) в результате упорядоченного движения ионов – 1, 2, 3 и 4;  
в результате упорядоченного движения электронов – 4:
  - Е) в результате упорядоченного движения ионов – 1, 3 и 4;  
в результате упорядоченного движения электронов – 2 и 3.
- 1 – в металлах;  
2 – в электролитах;  
3 – в вакуумных приборах;  
4 – в газах

## 2.1

## МАГНИТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ. ПОСТОЯННЫЕ МАГНИТЫ

Наверное, вы наблюдали, как при работе с мелкими телами из железа (например, винтами, болтами, гайками, гвоздями и т.д.) используют магнитные браслеты, которые удерживают эти железные тела.



- Что такое магнит, где еще вы наблюдали его применение?
- Какие тела магнит притягивает к себе, а какие нет?
- Как получается магнит и какими свойствами он обладает?



Еще древние греки знали о существовании особого минерала, способного притягивать к себе железные тела. Этот минерал, известный нам как *магнит*, добывался на железных рудниках, расположенных на территории современной Турции около города Магнезии в 600-х годах до н.э. (по-гречески слово “магнит” означает “камень из Магнезии”). В последующем люди называли магнитные явления *магнетизмом*, а магнитные минералы – *природными магнитами*. Для удовлетворения бытовых нужд люди научились изготавливать искусственные постоянные магниты разной формы.

• *Вещества, длительное время сохраняющие свои магнитные свойства, называются **постоянными магнитами** или просто **магнитами**.*

В физических лабораториях наиболее часто используются полосовые, дугообразные и кольцеобразные постоянные магниты (а).

(а)



Полосовой магнит



Дугообразный магнит



Кольцеобразный магнит

## Исследование 1

### Тело с магнитными свойствами

**Оборудование:** постоянный магнит, разные тела: шуруп, стеклянный шарик, гвоздь, монета, кусочек бумаги, ластик, спичка и др.

#### Ход исследования:

Приблизьте магнит к рассыпанному на поверхности стола разным телам (b). Определите, какие тела притягиваются к магниту, а какие не притягиваются.

#### Обсудите результат:

- Какие тела притянулись к магниту при его приближении к ним, а какие тела остались на поверхности стола? Почему?



Тела, изготовленные из железа, стали, никеля, чугуна и их сплавов, притягиваются к магниту. Тела, изготовленные из меди и алюминия, магнитом притягиваются слабо, а стекло, дерево и пластмассы магнитом не притягиваются.

## Какими свойствами обладают постоянные магниты?

## Исследование 2

### В какой части магнита сильнее магнитное действие?

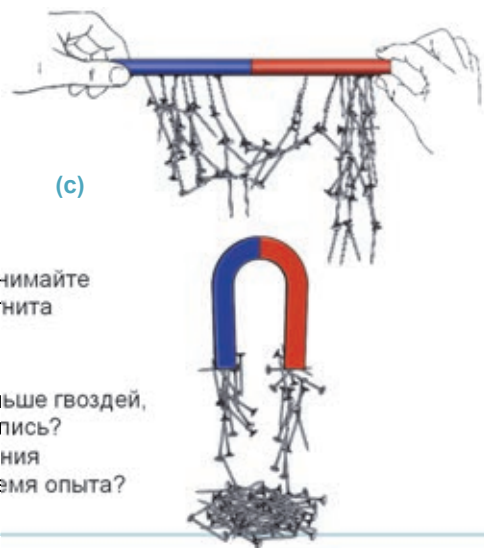
**Оборудование:** полосовой и дугообразный магниты, гвозди или шурупы.

#### Ход исследования:

Рассыпьте гвозди на поверхности стола. Поочередно приближайте магниты до соприкосновения с гвоздями, затем поднимайте их вверх и проследите, к какой части магнита больше притянулось гвоздей (c).

#### Обсудите результат:

- К какой части магнита притянулось больше гвоздей, а к какой части они вообще не притянулись?
- К какому выводу можно прийти из явления притяжения гвоздей друг к другу во время опыта?



• Части магнита, обладающие наибольшим магнитным воздействием, называются **полюсами**.

При удалении от полюсов магнита его воздействие ослабевает и притяжение гвоздей уменьшается. В центральной же части магнита притяжение отсутствует. Магнитное поле в середине плоского магнита обладает самым слабым магнитным воздействием.

В ходе исследования установлено, что магниты способны намагничивать некоторые тела, например, железные гвозди. Намагниченные гвозди сами притягивают к себе другие гвозди.

## Сколько полюсов имеет магнит и как они определяются?

### Исследование

3

#### Определение полюсов магнита.

**Оборудование:** изолирующий штатив, шелковая нить, полосовой магнит.

#### Ход исследования:

1. Подвесьте магнит на нити в горизонтальном положении так, чтобы он мог свободно вращаться вокруг нити (обратите внимание, чтобы рядом с магнитом не было железных изделий). Обратите внимание, в каком направлении установятся концы магнита в положении равновесия.
2. Придав магниту небольшое вращение, выведете его из состояния равновесия, и проследите за его новым установившимся положением равновесия (d).

#### Обсудите результат:

- Какое положение приобретает подвешенный на нити магнит в состоянии покоя: к каким полюсам Земли направлены его концы?

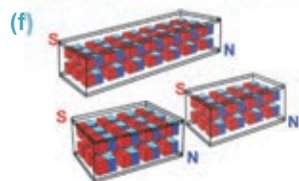


Исследование показало, что независимо от направления вращения магнита, подвешенного на нити, во всех случаях, останавливаясь, он принимает одно и то же положение – в направлении север-юг. Это связано с тем, что Земля имеет два магнитных полюса (см.: §2.4). Поэтому магнитный полюс, направленный к Северному географическому полюсу Земли, был назван северным (N – от английского слова *North*), а направленный к Южному географическому полюсу Земли – южным (S – от английского слова *South*). Обычно для того, чтобы выделить полюсы лабораторных магнитов, используются краски двух цветов: синяя (или белая) краска для северного полюса (N), красная краска для южного полюса (S). Граница цветов соответствует средней линии магнита.

**Существует ли магнит только с одним полюсом?** Если разделить магнит на несколько частей в произвольном направлении, то каждая из этих частей превратится в маленький магнит, имеющий два полюса – северный и южный (e). Это значит, что каждый произвольный магнит состоит из большого количества маленьких магнитов с двумя полюсами (f).



У каждого магнита обязательно имеются два полюса: северный (N) и южный (S). Разноименные полюса магнитов притягиваются друг к другу, а одноименные полюса отталкиваются друг от друга.



Магнитная стрелка это маленький постоянный магнит, имеющий два полюса. Магнитная стрелка изготавливается из тонкой листовой стали. Посередине стрелки имеется упор из стекла. Этот упор помещается на остроконечный стержень, что позволяет магнитной стрелке с легкостью поворачиваться в горизонтальной плоскости в любом направлении. Северный полюс стрелки будет направлен на Северный географический полюс Земли, а южный полюс



стрелки – на Южный географический полюс Земли. Магнитная стрелка является основной частью *компас* (g).

**Как зависят магнитные свойства вещества от температуры?** При нагревании постоянного магнита до определенной температуры, он теряет свои магнитные свойства.

*Температура, при которой постоянные магниты теряют свои магнитные свойства, называется **точкой Кюри**. Например, для железа точкой Кюри является температура в  $769^{\circ}\text{C}$ .*

Отметим, что приведенные выше свойства постоянных магнитов были открыты в результате многочисленных исследований, проведенных разными учеными. Один из них – *английский физик и врач Вильям Гильберт*.

### Творческое применение

#### Исследование

4

**Как действуют друг на друга полюса магнита?**

**Оборудование:** изолирующий штатив, два полосовых магнита, шелковая нить.

**Ход исследования:**

Один из магнитов подвесьте на нити к штативу. Другой же магнит приблизьте к нему сначала противоположным полюсом, а затем одноименным полюсом. Пронаблюдайте происходящие явления.

**Обсудите результат:** • Какое взаимодействие возникло между одноименными и разноименными полюсами магнитов?



**Вильям Гильберт**  
(1544-1603)

Английский физик и врач

- В своей книге “О магните, магнитных телах и большом магните – Земле”, изданной в 1600 году, он изложил свойства постоянных магнитов.

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

- Используя данные ключевые слова, запишите в рабочем листке информацию о свойствах постоянного магнита.  
**Ключевые слова** • постоянный магнит • магнитный полюс • северный магнитный полюс • южный магнитный полюс • однополюсный магнит • точка Кюри • средняя линия магнита •

#### Проверьте свои знания

1. Чем отличаются искусственные магниты от естественных? Приведите пример.
2. Каков характер взаимодействия между магнитами?
3. Возможно ли получить однополюсный магнит?
4. Как можно определить полюса магнита, если они неизвестны?
5. Перечислите основные свойства постоянного магнита.

Исторические исследования показали, что впервые в VII-VIII веках китайские священники заметили, что намагниченная железная игла, свисающая на шелковой нити, всегда поворачивается в направлении Полярной звезды, то есть к северо-востоку Земли. Это свойство намагниченного металла привело к изобретению корабельного компаса в XI веке, сначала в Китае, а затем в Аравии. Он состоял из намагниченной металлической ложки, которая свободно вращалась на медных или деревянных дощечках. Независимо от того, в каком направлении была повернута ложка, ее опора всегда была направлена к Южному полюсу Земли. В Европе компас начали использовать в XV веке.



- Как же возникает магнитное поле между магнитами и намагниченными телами?
- Существуют ли в природе магнитные заряды, являющиеся источниками магнитного поля?

### Исследование

1

(a)

#### Открытие Эрстеда.

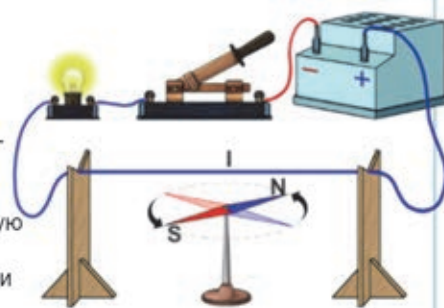
**Оборудование:** источник тока, магнитная стрелка на остроконечной подставке, деревянная подставка (2 шт.), лампа, ключ и соединительные провода.

**Ход исследования:** 1. Соберите электрическую цепь, представленную на рисунке. Обратите внимание на положение магнитной стрелки при разомкнутом ключе.

2. Замкните ключ и проследите за происходящим при прохождении электрического тока по цепи (a). 3. Разомкните ключ и обратите внимание на положение, которое принимает магнитная стрелка.

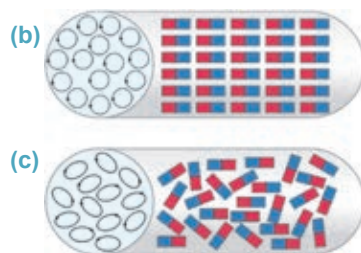
#### Обсудите результат:

- В какую сторону направлены северный и южный полюсы магнитной стрелки при разомкнутом ключе?
- Какое изменение наблюдается в положении магнитной стрелки при прохождении электрического тока через цепь? Почему?



Выполненное вами исследование впервые было проведено датским ученым Хансом Эрстедом в 1820 году: при отсутствии тока в цепи концы магнитной стрелки направлены к Северному и Южному полюсам Земли. Если расположить провод параллельно магнитной стрелке и замкнуть цепь, магнитная стрелка разворачивается на  $90^\circ$  и занимает перпендикулярное к проводу положение. При отключении же цепи магнитная стрелка возвращается в первоначальное положение. Эрстед открыл, что провод с током создает вокруг себя магнитное поле. Опираясь на исследования Эрстеда, французский ученый Андре Ампер выдвинул гипотезу о “круговых молекулярных токах”. По этой гипотезе, в природе не существует “магнитного заряда”, создающего магнитное поле, внутри атомов и

молекул существуют круговые токи. В последующем было определено, что элементарные токи возникают в результате движения электронов в атомах. При упорядоченном расположении относительно друг друга плоскостей вращения элементарных токов создаваемые ими элементарные магнитные поля суммируются. В результате вещества приобретают магнитные свойства (b), например, намагниченные под воздействием постоянного магнита или магнитного поля железо, сталь и др. При беспорядочном расположении плоскостей элементарных токов создаваемые ими элементарные магнитные поля компенсируют и нейтрализуют действия друг друга (c). Такие вещества не обладают магнитными свойствами, например, стекло, резина, дерево, пластмасса и др. Таким образом, находящиеся в состоянии покоя электрические заряды создают вокруг себя электрическое поле, но, если эти заряды движутся, возникает как электрическое, так и магнитное поле.



Отметим, что находящиеся в состоянии покоя электрические заряды создают вокруг себя электрическое поле, но если эти заряды будут упорядоченно двигаться, то вокруг них возникнет как электрическое, так и магнитное поле.

• **Магнитное поле** – это вид материи, возникающий при движении электрического заряда.

Магнитное поле, как и электрическое поле, невидимо. Его можно обнаружить только по действию на тела, обладающие магнитными свойствами. Отметим, что электрическое поле создается любым электрическим зарядом, и это поле обнаруживается действием на другой заряд. Магнит же имеет два полюса, и он одновременно взаимодействует с двумя полюсами другого магнита.

## Творческое применение

### Исследование

2

#### Действие магнитного поля.

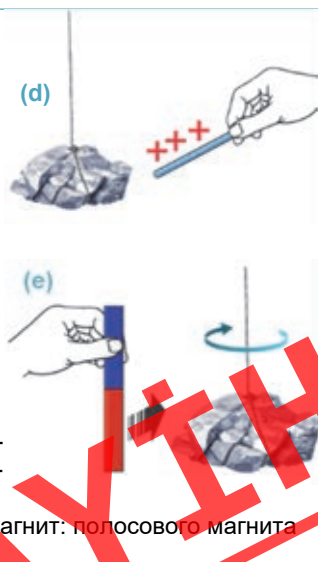
**Оборудование:** полосовой магнит, магнетит, стеклянная палочка, кусок шелка.

#### Ход исследования:

1. Наэлектризовав стеклянную палочку трением о кусок шелка, приблизьте ее к магнетиту, висящему на нитке. Подумайте о причине наблюдаемого явления (d).
2. Приблизьте один из полюсов полосового магнита, например, северный полюс с определенного расстояния к этому магнетиту и внимательно проследите за происходящим явлением (e).

#### Обсудите результат:

- Возникает ли взаимодействие между магнетитом и наэлектризованной стеклянной палочкой при их приближении? Почему?
- Магнитное поле какого магнита действует на другой магнит: полосового магнита или магнетита?



ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

Объясните смысл данных ключевых слов на рабочем листке.

Ключевые слова • магнитное поле • круговые молекулярные токи • опыт Эрстеда • источник магнитного поля •

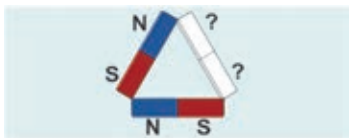
Проверьте свои знания

1. Какое физическое поле возникает при прохождении тока по проводнику?
2. В чем смысл гипотезы Ампера? Чем отличаются магниты от немагнитов по этой гипотезе?
3. Что является источником магнитного поля? Чем он отличается от источника электрического поля?

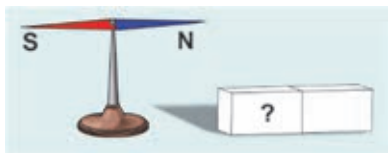
## Упражнение

2.1

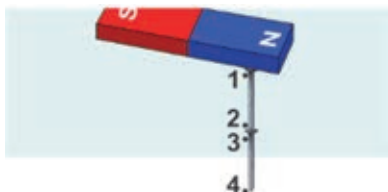
1. Определите полюса неизвестного магнита в “магнитной цепи”, изображенной на рисунке.



2. Чем можно определить намагниченность железного стержня: шелковой нитью, компасом, стеклянной палочкой или железными опилками?
3. При приближении магнитной стрелки к полосовому магниту она приобретает положение, показанное на рисунке. Определите полюса полосового магнита.



4. Определите магнитные полюса намагниченных гвоздей в точках 1, 2, 3 и 4.



5. Как показано на рисунке, на нити подвешены две иголки. При приближении или удалении от них магнита они отталкиваются друг от друга. Почему?



6. Как взаимодействуют друг с другом разноименные и одноименные магниты?

- А) Одноименные полюса притягиваются друг к другу, разноименные полюса отталкиваются.
- В) И одноименные, и разноименные полюса отталкиваются.
- С) И одноименные, и разноименные полюса притягиваются.
- Д) Одноименные полюса отталкиваются друг от друга, разноименные полюса притягиваются.
- Е) Одноименные полюса друг с другом не взаимодействуют, а разноименные полюса притягиваются.

## 2.3 Индукция магнитного поля

Известно, что действие электрического поля на электрический заряд, помещенный в это поле, определяется напряженностью электрического поля. Напряженность электрического поля – векторная величина, являющаяся силовой характеристикой электрического поля, равна силе, действующей на единичный положительный заряд. Магнитное поле также действует на магнит, помещенный в это поле, значит, у него тоже имеется силовая характеристика.

- Чем отличается силовая характеристика магнитного поля от напряженности электрического поля?
- Как направлена силовая характеристика магнитного поля? Как можно определить это направление?

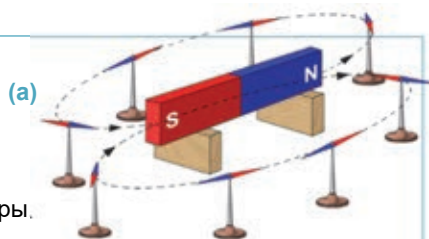
### Исследование 1

**Определим направление силы действия магнитного поля**

**Оборудование:** полосовой магнит, маленькие магнитные стрелки (6-8 штук), деревянные опоры.

**Ход исследования:**

1. Поместите полосовой магнит на деревянные опоры (обратите внимание, чтобы рядом не было железных изделий). Поместите магнитные стрелки в разных точках магнитного поля полосового магнита.
2. Изобразите на рабочем листке прерывистой линией положения магнитных стрелок, полученных под действием магнитного поля (а).



**Обсудите результат:**

- Какая закономерность наблюдается в положении магнитных стрелок, полученных в магнитном поле полосового магнита?
- Какие имеются предположения о направлении силы действия магнитного поля?

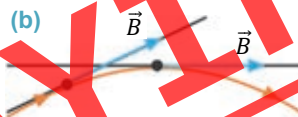
**Силовая характеристика магнитного поля.** Условно за силовую характеристику магнитного поля была принята индукция магнитного поля (или магнитная индукция). Она обозначается буквой  $\vec{B}$  и характеризует воздействие на магнит (или тело с магнитными свойствами), помещенный в данное магнитное поле. Магнитная индукция является векторной физической величиной.

• **Направление вектора индукции магнитного поля** – направление северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данной точке магнитного поля.

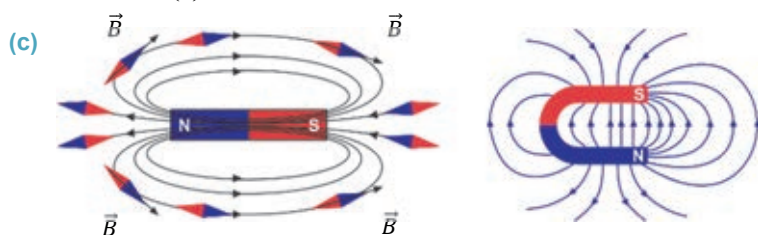
**Линии магнитной индукции.** Как вы знаете, магнитное поле невидимо, однако его картину можно смоделировать при помощи линий магнитной индукции (или силовыми линиями магнитного поля):

• **Линии магнитной индукции** – это линии, касательные к каждой точке которых, совпадают с направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  в данной точке (b).

Цепочки из магнитных стрелок вокруг магнита отображают форму линий магнитной индукции. Линии магнитной индукции выходят из внешнего северного полюса магнита и входят в южный полюс.



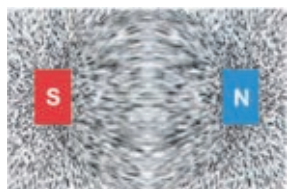
Внутри же магнита линии магнитной индукции продолжаются и замыкаются. На рисунке представлены схемы линий магнитной индукции для полосового и дугообразного магнита (с).



• *Магнитное поле является вихревым так как линии магнитной индукции этого поля всегда замкнуты (у них нет ни начала, ни конца).*

Очевидно, что в произвольной точке магнитного поля можно провести только одну линию магнитной индукции, так как вектор магнитной индукции в любой точке пространства имеет определенное направление. Это означает, что линии магнитной индукции не пересекаются.

Картину магнитной индукции можно яснее увидеть при помощи железных опилок. Так, каждая железная опилка в поле постоянного магнита превращается



(d) Магнитное поле

в маленькую магнитную стрелку, которая под действием магнитного поля выстраивается вдоль линий магнитной индукции. Создаваемая железными опилками картина наглядно показывает линии магнитной индукции магнитного поля (d). Эта картина называется *магнитным спектром*. В некоторых случаях можно создать такое магнитное поле, где линии магнитной индукции будут параллельны друг к другу, плотность

их распределения будет одинакова. Такое поле называется *однородным магнитным полем*. В качестве примера однородного магнитного поля можно показать поле между полюсами дугообразного магнита (см.: с).

## Творческое применение

### Исследование

2

#### Получение картины линий магнитной индукции.

**Оборудование:** полосовой магнит (2 шт.), дугообразный магнит, стеклянная пластинка, железные опилки.

#### Ход исследования:

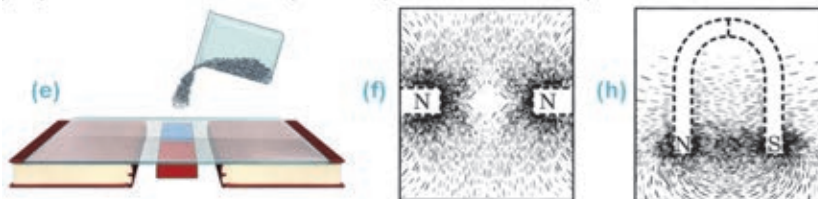
1. Расположите стеклянную пластинку на двух книгах, а полосовой магнит под пластинкой. Насыпьте железные опилки на поверхность пластинки (с) и осторожно постучите карандашом по ее краю. Пронаблюдайте за “магнитным спектром”, созданным железными опилками (см.: d).
2. Поместив под пластинку одноименные концы двух полосовых магнитов, например, два северных (N) полюса, повторите опыт и сравните полученный “магнитный спектр” с предыдущим изображением (f).



## Исследование

2

- Поместив под пластину дугообразный магнит, повторите опыт еще раз и наблюдайте картину, созданную под действием магнитного поля (h).
- Зарисуйте “магнитные спектры”, полученные во всех трех опытах.



## Обсудите результат:

- Какое различие наблюдается между полученными “магнитными спектрами”?
- Какие закономерности вы установили по форме “магнитных спектров”?

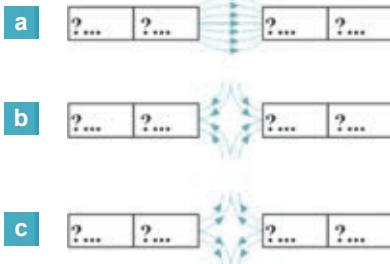
## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



- Объясните смысл данных ключевых слов на рабочем листке: • магнитная индукция • направление магнитной индукции • линии магнитной индукции • магнитный спектр • однородное магнитное поле •

## Проверьте свои знания

- Какое направление принято за направление магнитной индукции?
- Сравните силовые характеристики электрического и магнитного полей: по каким признакам они схожи, а по каким отличаются?
- Определите полюса постоянного магнита по форме линий магнитной индукции.



LAYIH

## 2.4 МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ЗЕМЛИ

Как вы знаете, при отсутствии поблизости тел с магнитными свойствами полосовой магнит, подвешенный на шелковой нити, или магнитная стрелка компаса ориентируются так, что их северный полюс всегда принимает положение в направлении Северного географического полюса Земли, а южный полюс – в направлении Южного географического полюса Земли.



- Почему стрелка компаса направлена к Северному и Южному полюсам земного шара?
- Во всех ли точках на поверхности Земли стрелка компаса направлена абсолютно одинаково?

### Исследование 1

**Можете ли вы изготовить компас?**

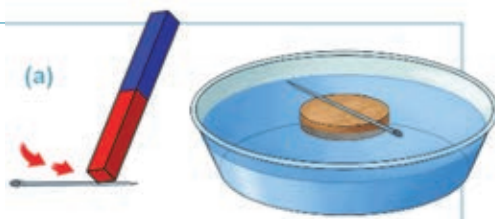
**Оборудование:** постоянный магнит, игла, стеклянная посуда с водой, пробка.

**Ход исследования:**

1. Поместите пробку на поверхности воды.
2. Потрите 20-25 раз иглу о магнит. Намагниченную таким способом иглу поместите на поверхность пробки. Вы уже создали “компас”.
3. Исследуйте, как приводит в движение пробку “стрелка” компаса, а также направленность его концов (а).
4. Закрутите “стрелку” компаса вместе с пробкой. Обратите внимание на направление концов “стрелки” после остановки пробки со стрелкой.

**Обсудите результат:**

- Как можно определить северный и южный полюсы стрелки изготовленного компаса?
- Какое направление приняли концы “стрелки” после остановки вращающегося компаса? Почему ?

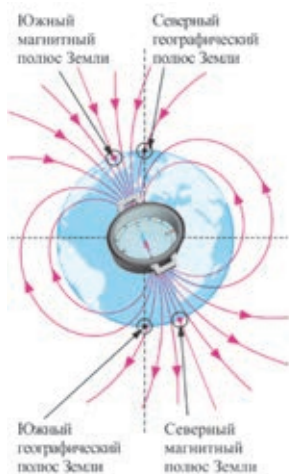


Магнитная стрелка в любой точке на поверхности Земли (кроме полюсов Земли и мест, богатых железной рудой) всегда устанавливается в направлении север-юг. Это показывает, что наша планета имеет магнитные свойства и создает вокруг себя в пространстве сильное магнитное поле. Северный магнитный полюс Земли располагается рядом с Южным географическим полюсом (на Антарктиде), а южный магнитный полюс – рядом с Северным географическим полюсом (на севере Канады) (b).

**Магнитосфера.** Магнитное поле Земли составляет седьмой слой ее атмосферы, называемый *магнитосферой* (c). Этот слой называется “поясом Ван Аллена” в честь астрофизика из США Джемса Альфреда Ван Аллена, впервые определившего его существование. “Пояс Ван Аллена”, простираясь на десятки тысяч километров от поверхности Земли, выполняет роль барьера по защите всего живого на Земле от смертельной энергии Солнца, вредных космических излучений (d).

Отметим, что кроме Земли в Солнечной системе магнитное поле обнаружено у планет Юпитер и Сатурн. Луна не имеет магнитного поля.

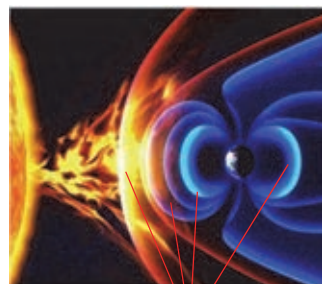
(b)



(c)



(d)



Пояс Ван  
Аллена

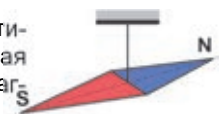
**Магнитный пояс.** Часть высокоскоростных заряженных частиц, выброшенных в космическое пространство при мощных взрывах в атмосфере Солнца, проходят через “пояс Ван Аллена” и попадают в атмосферу Земли. В результате магнитные поля, создаваемые этими частичками, действуют на магнитное поле Земли, усиливают его, возникает магнитная буря. Во время магнитной бури нарушается радиосвязь, самочувствие людей ухудшается, а на территориях вблизи Северного полюса наблюдается северное сияние и т.д.

### Творческое применение

#### Исследование

2

**Задача.** В каком направлении ориентируется подвешенная на нити магнитная стрелка на Северном или Южном магнитном полюсе Земли?



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

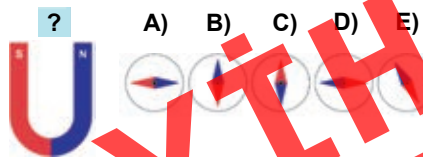


• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.**

1. Стрелка компаса ориентируется на Северный географический полюс Земли потому, что ...
  2. Стрелка компаса ориентируется на Южный географический полюс Земли потому, что ...
- “Пояс Ван Аллена” ... земной шар  
“Магнитная буря” ...

#### Проверьте свои знания

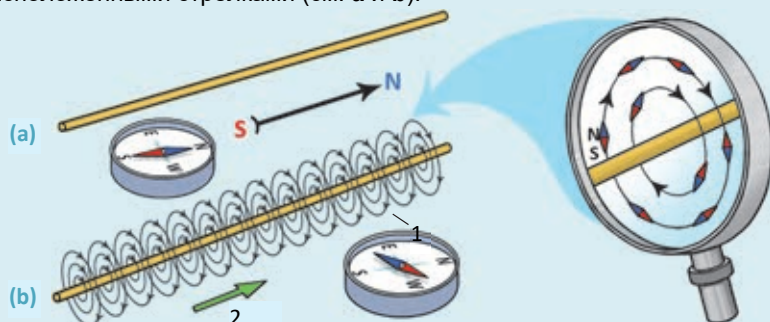
1. Как будут направлены концы магнитной стрелки компаса, находящегося между полюсами дугообразного магнита?
2. Что бы произошло при исчезновении магнитного поля Земли?
3. Какова причина возникновения магнитной бури?
4. Как будут направлены полюса магнитной стрелки компаса на поверхности Луны?



## 2.5

## МАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ ПРЯМОГО ПРОВОДНИКА С ТОКОМ

На рисунке представлен прямой проводник и близко расположенные два компаса с различно расположенными стрелками (см: а и b).



- Как можно объяснить причину различного расположения стрелок компасов?

## Исследование

1

## Линии магнитной индукции прямого проводника с током.

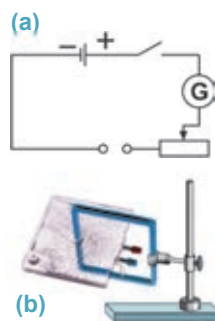
**Оборудование:** лабораторный набор “Магнитное поле”, источник постоянного тока, гальванометр, реостат, ключ, железные опилки, магнитные стрелки (4-5 штук), изолирующий штатив, соединительные провода.

**Ход исследования:** 1. Соберите цепь, представленную на рисунке (а). 2. Закрепите на штативе установку из лабораторного набора, состоящую из соединенного перпендикулярно к прямой части проводника плоской пластины (b). 3. Подсоединив клеммы приспособления к свободным концам цепи, замкните ключ. Насыпав железные опилки на поверхность пластины, наблюдайте за формой силовых линий магнитного поля прямого проводника с током.

4. Разомкните ключ и вместо железных опилок поместите вокруг проводника магнитные стрелки. Замкните цепь и определите направление вектора индукции в разных точках магнитного поля данного тока. 5. Поменяв направление тока в проводнике (поменяв местами соединительные провода на клеммах установки), повторите опыт с магнитными стрелками. Обратите при этом внимание на направление вектора магнитной индукции.

## Обсудите результат:

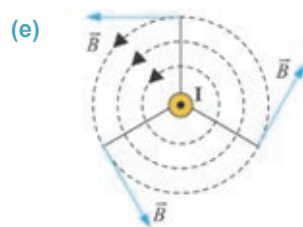
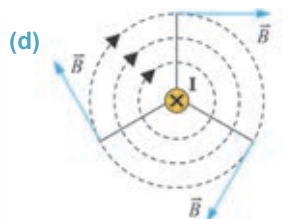
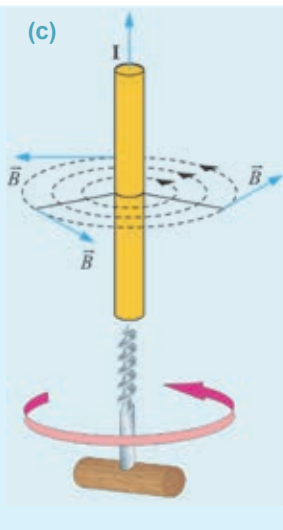
- Какую форму имеют линии магнитной индукции прямого проводника с током?
- Как изменяется направление индукции магнитного поля при прохождении электрического тока в проводнике – вертикально вниз и вертикально вверх?



**Линии магнитной индукции прямого проводника с током.** Исследование показало, что линии магнитной индукции прямого проводника с током представляют собой замкнутые concentric circles вокруг проводника с током, расположенные в перпендикулярных проводнику плоскостях. При изменении направления тока в проводнике наблюдался поворот магнитных стрелок на  $180^\circ$ .

Значит, направление вектора магнитной индукции, создаваемой током, зависит от направления тока в проводнике. Не прибегая к магнитным стрелкам, направление магнитной индукции можно определить двумя способами: *правилом правого винта (буравчика)* или *правилом правой руки*.

**Правило правого винта (буравчика) для прямого проводника с током:** если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения рукоятки буравчика показывает направление вектора магнитной индукции, созданного этим током (с).



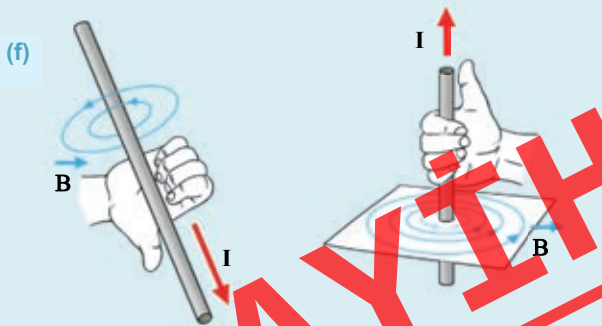
Если прямой проводник с током перпендикулярен плоскости рисунка, то он на схемах обозначается в виде точки или крестика в кружочке:

– если ток от нас перпендикулярен плоскости рисунка, он показывается в виде крестика внутри кружочка (d);

– а если ток перпендикулярен от плоскости рисунка к нам, то в виде точки внутри кружочка (e).

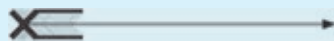
При применении правила правого винта (буравчика) к этим токам легко можно определить, что для тока, направленного перпендикулярно от нас к плоскости рисунка, вектор магнитной индукции направлен по направлению вращения часовой стрелки (см.: d); для тока, направленного перпендикулярно от плоскости рисунка к нам, вектор магнитной индукции направлен против направления вращения часовой стрелки (см.: e).

**Правило правой руки для прямого проводника с током:** если мысленно взять прямой проводник с током в правую руку так, чтобы большим пальцем был направлен вдоль тока, то остальные четыре пальца будут сжаты в направлении индукции магнитного поля (f).



**Внимание!** • Линии индукции магнитного поля, перпендикулярные к плоскости рисунка, на схемах изображаются в виде системы из точек и крестиков. Если представить вектор магнитной индукции в форме стрелки (g), то линии магнитной индукции, направленные перпендикулярно от плоскости рисунка к нам, представляют собой систему точек (мы видим будто кончик стрелы). А если линии магнитной индукции направлены перпендикулярно к плоскости рисунка от нас, то они представляют собой систему крестиков (будто мы видим конец удаляющейся от нас стрелы) (см.: g). Например, линии индукции магнитного поля на плоскости рисунка справа и слева от проводника с током обозначаются точками и крестиками в зависимости от направления тока (h). Эти обозначения определяются по правилу буравчика или правилу правой руки.

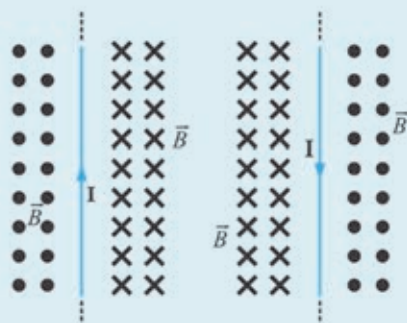
(g)  $\vec{B}$  Вектор индукции



•  $\vec{B}$  Перпендикулярно плоскости рисунка к нам

×  $\vec{B}$  Перпендикулярно плоскости рисунка от нас

(h)

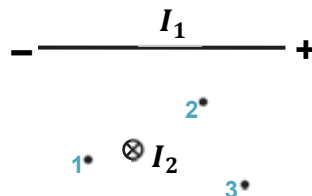


## Творческое применение

### Исследование 2

**Задача.** Перепишите в рабочий листок данные схемы и определите:

- направление линий магнитной индукции тока  $I_1$ ;
- направление вектора индукции магнитного поля тока  $I_2$  в точках 1, 2 и 3.



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:

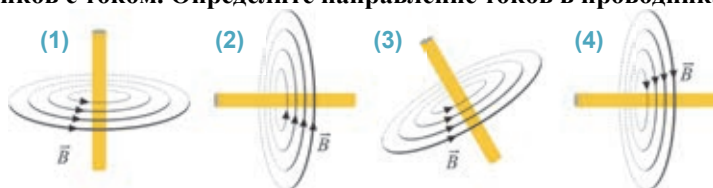
- Правило правой руки для прямого проводника с током: ...;
- Правило правого винта для прямого проводника с током: ...;
- Линии магнитной индукции, направленные перпендикулярно от плоскости рисунка к нам ...;
- Линии магнитной индукции, направленные перпендикулярно к плоскости рисунка от нас ...

### Проверьте свои знания

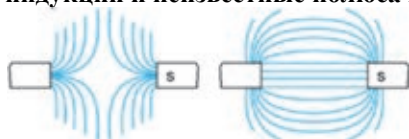
- От чего зависит направление линий индукции магнитного поля, созданного током?
- Как выражается правило правой руки для прямого проводника с током?
- Как изображается на схемах прямой проводник с током, если он расположен перпендикулярно к плоскости рисунка?
- Как направлен вектор индукции в произвольной точке магнитного поля, если прямой проводник с током расположен перпендикулярно к плоскости рисунка?

**Упражнение 2.2**

1. На рисунке представлены схемы линий магнитной индукции четырех проводников с током. Определите направление токов в проводниках.



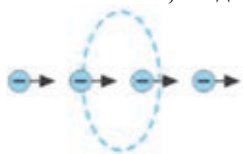
2. На рисунке представлены линии индукции постоянных магнитов. Определите направление линий индукции и неизвестные полюса магнита.



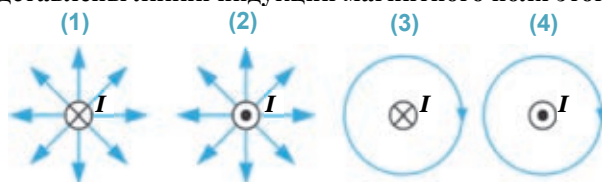
3. На рисунке представлен вектор индукции однородного магнитного поля. В какой части плоскости рисунка помещен северный полюс магнитного поля: впереди или позади него?



4. Электронный пучок движется, как показано на рисунке. Определите направление линий индукции магнитного поля, создаваемого электронным пучком.



5. Провод с током перпендикулярен к плоскости рисунка. На какой схеме правильно представлены линии индукции магнитного поля этого тока?



A) 1 и 2    B) только 3    C) 3 и 4    D) 2 и 3    E) 1 и 4



- Чем будет отличаться магнитное поле проводника с током круглой формы от магнитного поля прямого проводника с током?
- Что такое катушка? Как вы представляете картину линий магнитной индукции катушки с током?
- Как можно определить направление линий индукции кругового проводника и катушки с током?

### Исследование 1

#### Магнитный спектр кругового тока.

**Оборудование:** лабораторный набор “Магнитное поле”, источник постоянного тока, гальванометр, реостат, ключ, железные опилки, соединительные провода.

#### Ход исследования:

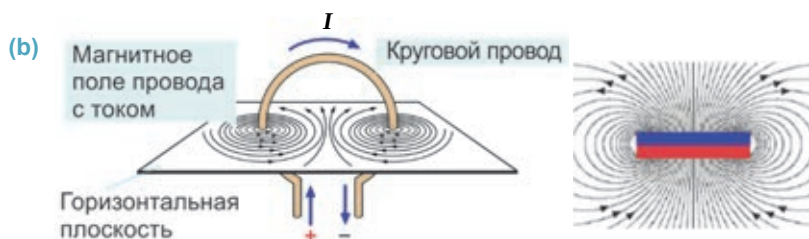
1. Соберите последовательную электрическую цепь (см.: стр. 60) и присоедините свободные концы этой цепи к клеммам кругового проводника.
2. Насыпав железные опилки на поверхность пластины, закрепленной перпендикулярно к круговому проводнику, проходящему через его центр, замкните цепь. Осторожно постучите по пластинке карандашом и исследуйте картину магнитного спектра кругового тока (а).
3. Измените направление кругового тока и проследите за произошедшим явлением.

#### Обсудите результат:

- Какую форму имеет магнитный спектр кругового тока?
- Что вы наблюдали при изменении направления кругового тока?
- Как можно определить направление линий индукции магнитного поля кругового тока?



**Магнитное поле кругового тока.** Картина магнитного спектра кругового тока *схожа с линиями* индукции постоянного кольцеобразного магнита (b).

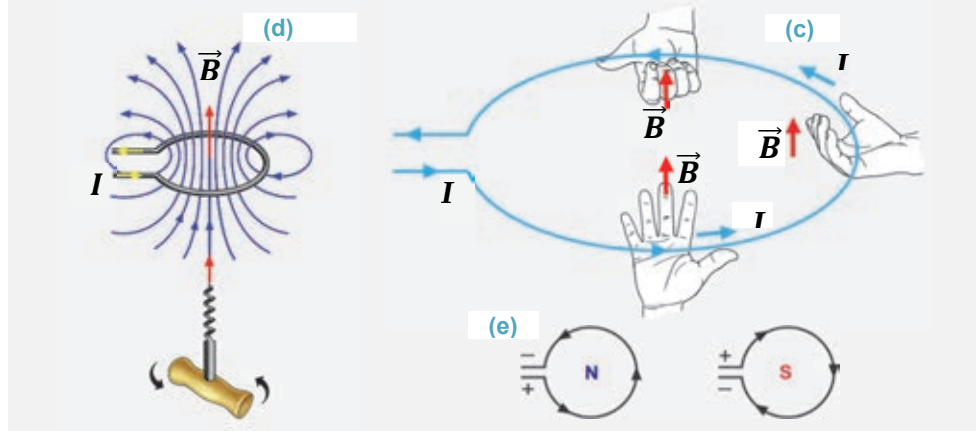


Направление магнитной индукции кругового тока определяется направлением тока, и его легко можно определить при помощи магнитной стрелки. А при отсутствии магнитной стрелки для этой цели можно использовать правило правой руки или правило буравчика (винта).

**Правило винта для кругового тока:** при вращении рукоятки буравчика в направлении кругового тока направление поступательного движения буравчика покажет направление индукции магнитного поля внутри кругового тока (d).

**Правило правой руки для кругового тока:** если мысленно взять круговой проводник с током в правую руку в произвольном месте так, чтобы большой палец был направлен вдоль тока, то остальные четыре пальца будут согнуты в направлении индукции магнитного поля (c).

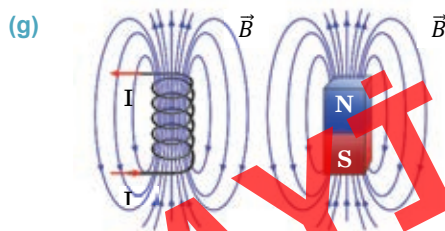
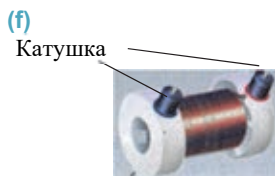
Та сторона плоскости кругового тока, откуда выходят линии магнитной индукции, является северным полюсом магнитного поля, а та сторона, куда входят линии индукции, является южным полюсом (e).



### Магнитное поле катушки с током.

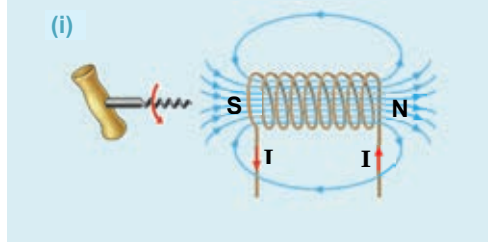
**Что такое катушка?** Катушка получается многократным наматыванием изолированного проводника на цилиндрическую бобину из толстого картона или пластмассы. Свободные концы проводника подсоединяются к клеммам (f). Значит, катушку можно рассматривать как широкий круговой проводник.

Картину линий магнитной индукции катушки с током также легко можно наблюдать при помощи железных опилок. Для этого удобно использовать упрощенную модель катушки – проводник, пропущенный через два ряда отверстий в пластинке оргстекла. Железные опилки, рассыпанные по поверхности пластины из оргстекла, после подсоединения катушки к источнику постоянного тока создают картину линий индукции магнитного поля катушки с током. Эта картина напоминает линии индукции постоянного полосового магнита (g).

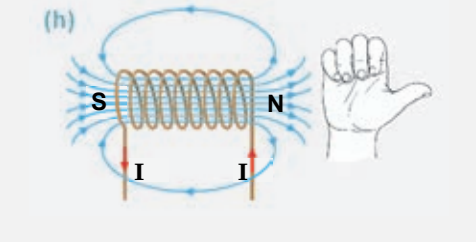


Магнитное поле катушки с током, как и в случае с полосовым магнитом, имеет два полюса: северный и южный. Полюса катушки располагаются на ее концах. Полюса магнитного поля катушки с током также легко можно определить по правилу правой руки или по правилу правого винта.

**Правило винта для катушки с током:** если вращать рукоятку буравчика по направлению тока в катушке, то направление поступательного движения буравчика показывает направление линий индукции (i).



**Правило правой руки для катушки с током:** катушка берется в правую руку так, чтобы согнутые четыре пальца совпадали с направлением тока в обмотках, в этом случае отогнутый большой палец будет показывать направление линий индукции магнитного поля внутри катушки (h).



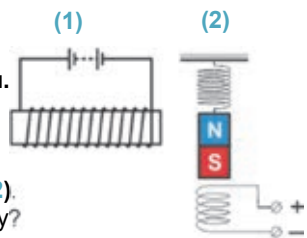
## Творческое применение

### Исследование

2

**Задача.** Перенесите в рабочий листок данные схемы.

1. Нарисуйте линии магнитной индукции катушки с током, покажите их направление и определите полюса магнитного поля (1).
2. Над катушкой на упругой пружине подвешен магнит (2). Как себя поведет магнит при замыкании цепи? Почему?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Магнитное поле кругового тока ...
2. Правило винта для катушки с током: ...
3. Правило правой руки для катушки с током: ...

### Проверьте свои знания

1. Чем отличается магнитный спектр катушки с током от магнитного спектра прямого проводника с током?
2. Как выражается правило винта для катушки с током?
3. Как можно изменить полюсы магнитного поля кругового проводника и катушки с током?
4. Определите полюсы магнитного поля кругового тока на основании данного рисунка.



## 2.7 ЭЛЕКТРОМАГНИТ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ

**Вероятно, ваше внимание привлекали такие кадры из фильмов:** подъемный кран при помощи специального магнитного устройства поднимает тяжелый железный предмет, например, автомобиль, а в нужном месте размагничивается и разгружает его. Значит, устройство, поднимающее железные тела, при необходимости может создавать мощное магнитное действие и размагничиваться, когда это не нужно.



- Что создает мощное магнитное воздействие в этих устройствах и как можно их мгновенно размагнитить?

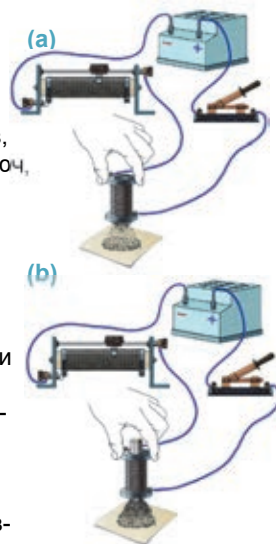


### Исследование 1

**От чего зависит магнитное действие катушки с током?**

**Оборудование:** две катушки с разным количеством витков, имеющие одинаковые размеры, источник тока, реостат, ключ, железные опилки, железный сердечник, соединительные провода.

**Ход исследования:** 1. Соберите последовательную электрическую цепь, состоящую из источника тока, реостата, катушки и ключа. 2. Замкните ключ и прикоснитесь концом катушки с током к железным опилкам (перед этим отверстие катушки заклеивается бумагой). Поднимите катушку вверх и проследите за возникшим явлением (а). 3. Увеличивайте и уменьшайте силу тока в катушке движением ползунка реостата. Пронаблюдайте, как изменяется при этом магнитное действие катушки с током. 4. Повторите опыт с катушкой с большим числом витков и проследите, как изменяется магнитное действие катушки с током. 5. Повторите опыт, вставляя железный сердечник в катушку, и исследуйте его магнитное действие (б).



**Обсудите результат:**

- Как зависит магнитное действие катушки с током от силы тока, числа витков и наличия железного сердечника внутри катушки?

В 1820 году французский ученый А.Ампер, исследуя магнитное поле катушки с током, определил, что магнитное действие катушки зависит от силы тока в нем: с ростом силы тока растет магнитное действие катушки, а при отключении силы тока катушка теряет свои магнитные свойства. В 1825 году английский изобретатель В.Стерджен, вводя внутрь катушки с током железный сердечник, выяснил, что магнитное действие катушки увеличилось.



Вильям Стерджен  
(1783–1850)  
Английский физик-изобретатель

- Изобретатель первого электромагнита и электрического двигателя.

В 1828 году американский физик Дж. Генри определил, что, увеличивая число витков электромагнита, можно существенно увеличить его магнитное действие. Используя это свойство электромагнита, он впервые разработал электромагнитный кран, способный поднимать тяжелые железные грузы.



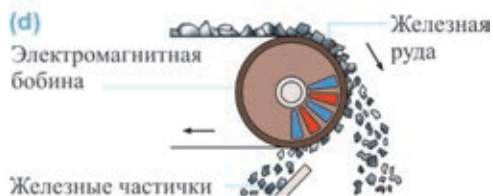
Джозеф Генри  
(1797-1878)  
Американский физик-изобретатель

- Изобретатель первого электромагнитного крана. В 1831 году он продемонстрировал электромагнитный кран, способный поднять груз в 1000 кг. Этот кран хранится в музее института Смитсона в Вашингтоне.

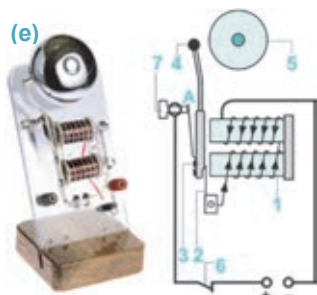
• *Катушка с железным сердечником внутри называется **электромагнитом**.*

При прохождении электрического тока через витки катушки, возникает магнитное поле и железный сердечник приобретает магнитные свойства, при прекращении же электрического тока магнитное поле исчезает и сердечник размагничивается.

Магнитное действие электромагнита сильно зависит от числа витков, проходящих на единицу его длины, и силы тока, протекающего через витки. Исследование показало, что с увеличением числа витков в данной катушке и силы тока в ней, магнитное действие электромагнита усиливается, а при отключении тока электромагнит сразу размагничивается. Действующие на основе этого свойства электромагнита приборы и устройства широко применяются в быту, технике, производстве, медицине и т.д. Например, для погрузки и разгрузки тяжелых железных изделий используются электромагнитные краны (с). На рудниках для отделения железных частичек от других тел (почвы, камней и др.) используются *электромагнитные сепараторы (вращающаяся электромагнитная bobина) (d).*



Основную часть электрического звонка в вашей школе также составляет электромагнит. Ознакомимся с его устройством и принципом работы.



**Устройство и принцип работы электрического звонка.** Основные части электрического звонка следующие: электромагнит (1), упругая стальная пружина (2), подсоединенный к ней железный якорь (3), закрепленный на конце якоря маленький молоточек (4), являющаяся источником звука металлическая чашка (5). При нажатии на кнопку электрического звонка (6) цепь замыкается, через электромагнит проходит ток и

он намагничивается. Молоточек на якоре притягивается к электромагниту и бьется об чашку, издавая звук. Однако, притягиваясь к электромагниту, якорь отходит от контакта (7) и цепь размыкается в точке А: электрический ток отключается и электромагнит размагничивается (е). В это время якорь посредством упругой пружины оттягивается назад, снова замыкает электрическую цепь в точке А и процесс возобновляется. Этот процесс повторяется в течение всего времени, пока кнопка нажата.

### Творческое применение

#### Исследование 2

##### Работа с моделью электромагнитного крана.

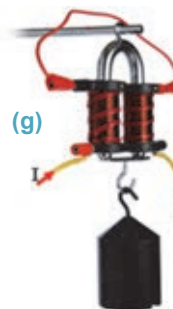
**Оборудование:** модель электромагнитного крана (электромагниты – 2 шт., железный якорь с крючком), набор грузов (f), источник тока (выпрямитель), соединительные провода.

##### Ход исследования:

1. Подвесьте электромагнитный кран на штативе. Верхние клеммы электромагнита соедините друг с другом, а нижние клеммы подсоедините к выпрямителю (g).
2. Включив выпрямитель, подайте на концы цепи напряжение в 2 В. Приблизив железный якорь к электромагниту, подвесьте на его крючок грузы до отделения якоря от электромагнита.
3. Подав на концы цепи напряжение 4 В, повторите опыт и исследуйте, в каком случае якорь удерживает больший груз.

##### Обсудите результат:

- От чего зависит грузоподъемность электромагнитного крана?



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.**

1. Электромагнит – ...
2. Магнитное действие электромагнита зависит от: а) ... б) ...
3. Электромагниты применяются ...

#### Проверьте свои знания

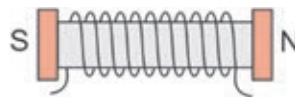
1. Как можно увеличить магнитное действие катушки с током?
2. Что такое электромагнит и в каких целях его используют?
3. Объясните принцип работы электрического звонка.
4. Намотайте на железный гвоздь провод с изоляцией и подсоедините его концы к батарее, получится простой электромагнит. Определите полюсы этого электромагнита.



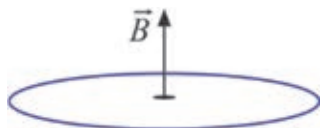
**Упражнение**

**2.3**

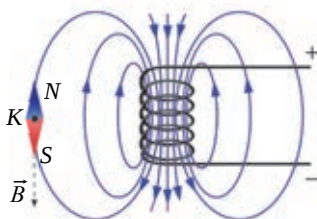
1. На рисунке показаны магнитные полюсы катушки с током. Определите направление тока в катушке.



2. Индукция магнитного поля кругового проводника с током направлена вверх. Определите направление тока в проводнике.



3. На рисунке представлены линии магнитной индукции катушки с током. Правильно ли показано направление вектора индукции в точке К?



4. На рисунке представлена схема атома водорода. Определите магнитные полюсы атома.



5. Каким способом можно изменить магнитные полюсы катушки с током?

6. Как можно увеличить магнитное действие катушки с током?

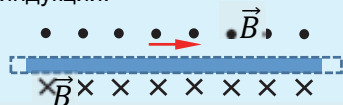
1. Увеличив силу тока.
2. Уменьшив число витков.
3. Введя внутрь алюминиевый сердечник.
4. Введя внутрь стальной сердечник.
5. Увеличив число витков.

- А) 1, 4 и 5   В) 2 и 3   С) 1, 2 и 3   D) только 5   Е) 1 и 5

## 2.8

## МАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОВ

На рисунке представлен определенный участок проводника с током и направление линий магнитной индукции.



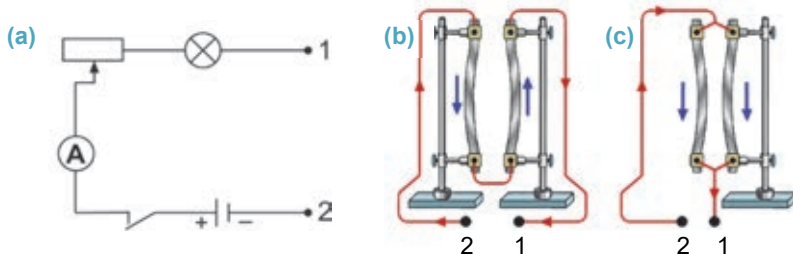
- Какие магнитные полюса расположены на «верхней» и «нижней» сторонах проводника с током в плоскости изображения?
- Какое взаимодействие возникнет между проводниками, если рядом с одним из них параллельно разместить второй такой же проводник с током? Почему?

## Исследование 1

## Магнитное взаимодействие между проводниками с током.

**Оборудование:** два проводника (изготовленные из алюминиевой фольги), источник постоянного тока, реостат, лампа, амперметр, ключ, диэлектрический штатив (2 штуки), соединительные провода.

**Ход исследования:** 1. Соберите последовательную цепь, состоящую из источника тока, реостата, амперметра, лампы и ключа. Зажим 1 лампы и зажим 2 источника тока оставьте свободными (а). 2. Подсоедините вырезанные из алюминиевой фольги проводники в зажимах изолирующих штативов параллельно и подключите к этим зажимам соединительные провода, как показано на рисунке (б). 3. Замкните цепь, подсоединив выходы цепи 1 и 2 к свободным концам проводников. Определите характер взаимодействия, возникающий при этом между параллельными проводниками с током. 4. Исследуйте, как изменяется взаимодействие между параллельными проводниками при увеличении и уменьшении силы тока в цепи и расстояния между проводниками. 5. Разомкните цепь и соедините параллельные проводники так, чтобы ток через них проходил в одинаковом направлении (с). Замкните цепь и определите характер взаимодействия между параллельными проводниками с током.



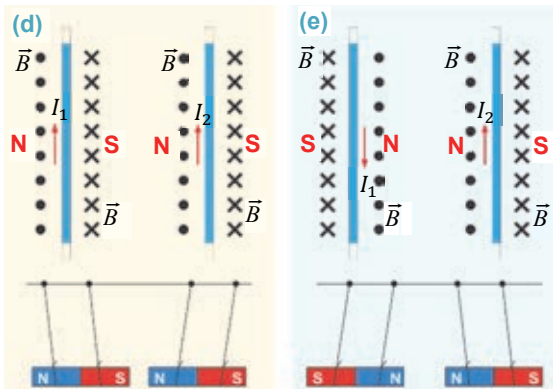
## Обсудите результат:

- Почему, когда ток в параллельных проводниках имеет противоположные направления, они отталкиваются друг от друга, а когда ток направлен в одну сторону, то они притягиваются друг к другу?
- Как зависит взаимодействие между параллельными проводниками с током от силы тока в них и расстояния между этими проводами?

В 1820 году А.Ампер в результате многочисленных опытов, проведенных над параллельными проводниками с током, определил, что между этими проводниками, как между постоянными магнитами, также существует магнитное взаимодействие:

• Проводники с током оказывают воздействие друг на друга посредством возникающих вокруг них магнитных полей.

В зависимости от направления тока магнитное взаимодействие в проводниках может приобретать как характер отталкивания, так и притяжения. На осно-



вании правила буравчика (или правой руки) легко можно определить, что при одинаковом направлении тока в параллельных проводниках (в плоскости рисунка) между ними создаются противоположные полюса магнитного поля. В этом случае проводники притягиваются друг к другу, как подвешенные на нитях постоянные магниты (d). А при противоположном направлении тока в

параллельных проводниках (в плоскости рисунка) между ними создаются одинаковые полюса магнитного поля, проводники отталкиваются друг от друга (e).

Взаимодействие между параллельными проводниками с током количественно характеризуется силой магнитного взаимодействия.

• Значение силы магнитного взаимодействия зависит от силы тока в находящихся во взаимодействии параллельных проводниках с током, длины проводников и расстояния между ними.

$$F_m \sim \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r}.$$

Здесь  $F_m$  — модуль силы магнитного взаимодействия между параллельными проводниками с током,  $I_1$  и  $I_2$  — сила тока в параллельных проводниках,  $l$  — длина проводников,  $r$  — расстояние между ними.

Магнитное взаимодействие проводников используется для определения единицы силы тока в системе СИ:

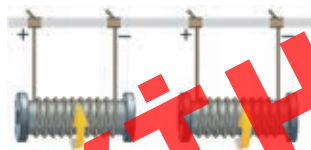
1 Ампер — сила постоянного тока, который при прохождении по двум тонким бесконечно длинным параллельным проводникам, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** Изобразите на рабочем листке данную схему и определите:

- магнитные полюса на концах параллельных катушек с током;
- характер магнитного взаимодействия между этими катушками;
- как изменится магнитное взаимодействие между ними при изменении направления тока в левой катушке.



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.**

1. Проводники с током оказывают друг на друга – ...
2. Сила магнитного взаимодействия между параллельными проводниками с током – ...
3. Единица силы тока в системе СИ 1 А – ...

### Проверьте свои знания

1. Возникает ли магнитное взаимодействие между параллельными проводниками, если в одном из них отсутствует ток? Почему?
2. Возникает ли сила электрического взаимодействия между параллельными проводами с током? Ответ обоснуйте.
3. В каком случае сила магнитного взаимодействия между катушками с током больше: при помещении катушек друг против друга или рядом? Почему?

## 2.9

### ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРЯМОЙ ПРОВОДНИК С ТОКОМ. МОДУЛЬ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



- Что, по предположению Ампера, является источником магнитного поля?
- Можно ли, основываясь на предположении Ампера, выдвинуть другое предположение: “В основе всех магнитных взаимодействий лежит действие магнитного поля на электрический ток”? Почему?

Впервые А.Ампер опытным путем определил, что при помещении проводника с током в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям индукции или под некоторым углом к ним, магнитное поле действует на проводник с определенной силой.

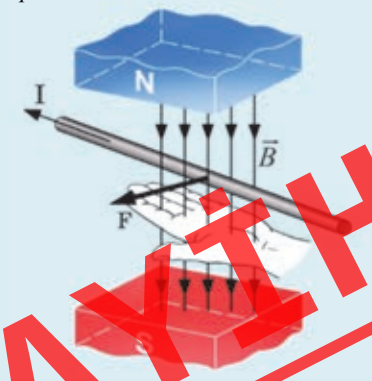
Направление этой силы, называемой *силой Ампера*, зависит от направления линий индукции постоянного магнита и силы тока в проводнике. Направление силы Ампера определяется согласно *правилу левой руки*.

**Чему равен модуль силы Ампера?** При помещении проводника с током в однородное магнитное поле модуль действующей на проводник силы Ампера равен произведению силы тока, модуля магнитной индукции, длины проводника и синуса угла между направлением тока и вектором магнитной индукции:

$$F = IBlsin\alpha.$$

Где  $F$  – модуль силы Ампера,  $I$  – сила тока, протекающего через проводник,  $B$  – модуль

**Правило левой руки для силы Ампера.** Левую руку надо поместить в магнитное поле так, чтобы линии магнитной индукции входили перпендикулярно в ладонь, а четыре пальца были вытянуты по направлению тока. При этом отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на провод с током.



магнитной индукции,  $l$  – длина части проводника, находящегося в магнитном поле,  $\alpha$  – угол между направлением тока и вектором магнитной индукции.

Как видно из формулы, если проводник с током будет расположен параллельно вектору индукции магнитного поля ( $\alpha = 0^\circ$  или  $\alpha = 180^\circ$ ), на проводник с током сила Ампера не действует (так как  $\sin 0^\circ = 0$  и  $\sin 180^\circ = 0$ ):  $F = 0$ .

Если же проводник с током расположить перпендикулярно к линиям магнитной индукции, то сила Ампера примет максимальное значение, так как при  $\alpha = 90^\circ$   $\sin 90^\circ = 1$ :

$$F_m = IBl.$$

**Чему равен модуль магнитной индукции?** Модуль магнитной индукции равен отношению модуля максимальной силы Ампера, действующей на проводник с током, помещенный перпендикулярно линиям индукции в однородном магнитном поле, к произведению силы тока в проводнике на его длину  $l$ :

$$B = \frac{F_m}{I \cdot l}.$$

Единица магнитной индукции в СИ названа *тесла* (1 Тл) в честь сербского ученого Николы Теслы.

1 тесла – это магнитная индукция такого однородного магнитного поля, которое на участок проводника длиной 1 м, расположенного перпендикулярно к линиям магнитной индукции, при силе тока 1 А действует с силой, равной 1 Н:

$$[B] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2} = 1 \text{Тл}.$$

**Внимание!** • Индукция магнитного поля не зависит от длины помещенного в это поле проводника и силы тока в нем, а зависит от свойств самого магнитного поля в данной точке, его источника. Это означает, что магнитная индукция также не зависит от отношения  $\frac{F_m}{I \cdot l}$ , потому что сила Ампера, действующая на помещенный в это поле проводник с током, будет прямо пропорциональна силе тока в нем.

## Творческое применение



### Исследование

2

#### Действие магнитного поля на проводник с током.

**Оборудование:** дугообразный магнит малого размера (2 штуки), дугообразный магнит большого размера (2 штуки), источник постоянного тока, реостат, ключ, толстый небольшой длины прямой проводник (ab), тонкие соединительные провода, изолирующий штатив.

**Правило безопасности:** при подготовке к каждому этапу работы электрическая цепь должна быть разомкнута.

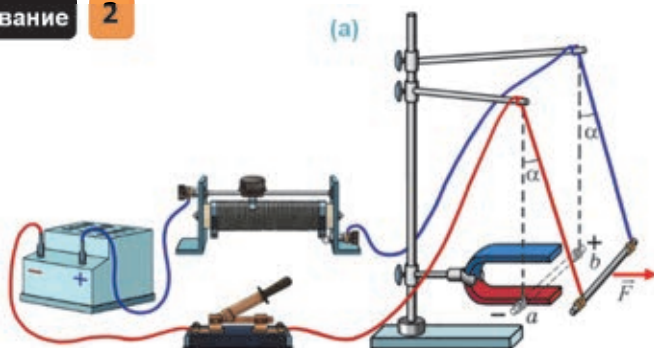
#### Ход исследования:

1. Дугообразный магнит закрепите в штативе в вертикальной плоскости так, чтобы линии индукции магнитного поля между его полюсами расположились вертикально. Подвесив толстый проводник на тонких проводах, разместите его между полюсами магнита так, чтобы он был перпендикулярен линиям магнитной индукции (а).



## Исследование

2



2. Замкните ключ и проследите за возникшим явлением.
3. Проверьте, как зависит направление силы Ампера:
  - а) от смены мест его полюсов путем переворачивания магнита;
  - б) от смены мест соединительных проводов на клеммах источника тока.
4. Проверьте от каких величин и как зависит модуль силы Ампера:
  - а) от силы тока в проводнике, увеличивая или уменьшая силу тока с помощью реостата;
  - б) от индукции магнитного поля, заменяя один магнит на другой с более мощным магнитным полем;
  - в) от длины проводника, используя два магнита вместо одного (с увеличением в два раза длины проводника в магнитном поле).

**Обсудите результат:**

- От чего зависит направление силы Ампера, с которой магнитное поле действует на проводник с током?
- От чего и как зависит модуль силы Ампера?

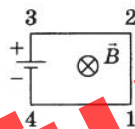
**ЧТО ВЫ УЗНАЛИ**

- Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Направление силы Ампера зависит – ...
2. Правило левой руки для силы Ампера – ....
3. Модуль силы Ампера равен – ...

**Проверьте свои знания**

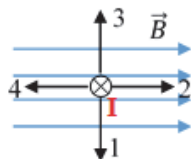
1. Электрическая цепь, состоящая из четырех горизонтально расположенных прямых проводов (1-2, 2-3, 3-4, 4-1) и источника постоянного тока, помещена в однородное магнитное поле. Вектор магнитной индукции направлен перпендикулярно к плоскости рисунка. Как направлена сила Ампера, действующая на провода цепи 1-2 и 2-3?
2. Что принимается в качестве направления вектора магнитной индукции и каков его модуль?
3. Как индукция магнитного поля зависит от длины проводника с током в этом поле?



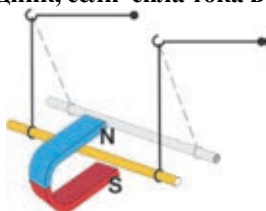
# Упражнение

## 2.4

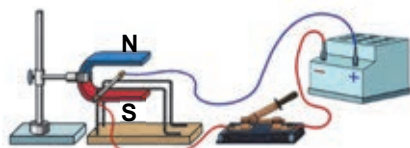
1. Проводник с током находится в однородном магнитном поле, как показано на рисунке. Как направлена сила Ампера, действующая на проводник с током?



2. Прямой проводник с током длиной 2 м помещен в однородное магнитное поле с индукцией 60 мТл перпендикулярно линиям индукции. Вычислите силу Ампера, действующую на проводник, если сила тока в нем равна 2 А.



3. Определите направление тока в проводнике, смещающемся под действием магнитного поля.
4. Алюминиевый проводник с током будет перемещаться по диэлектрическим рельсам при замыкании электрической цепи. В каком направлении он будет двигаться и почему?



5. На рисунке представлен проводник с током, помещенный в однородное магнитное поле. Определите направление вектора магнитной индукции.



6. Длина проводника с током, помещенного в однородное магнитное поле с индукцией 5 Тл, составляет 3 м, через него проходит ток в 2 А. Определите модуль и направление силы Ампера, действующей на проводник с током.

- А)  $F=30$  Н, перпендикуляр от нас на плоскость рисунка
- В)  $F=30$  Н, перпендикуляр на нас от плоскости рисунка
- С) Введя внутрь деревянный сердечник.
- Д)  $F=0$ , не действует
- Е)  $F=30$ Н, в направлении, противоположном линиям индукции



## 2.10 ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА РАМКУ С ТОКОМ

Вы изучили действие силы Ампера на прямой проводник с током в магнитном поле.



- Как определяется направление силы Ампера, действующей на прямой проводник с током, помещенный в магнитное поле?
- В каком случае прямой проводник с током, помещенный в магнитное поле, не подвергается действию этого поля?
- Действует ли сила Ампера на проводящую рамку, помещенную в магнитное поле? Какое движение придает рамке эта сила? Почему?

### Исследование

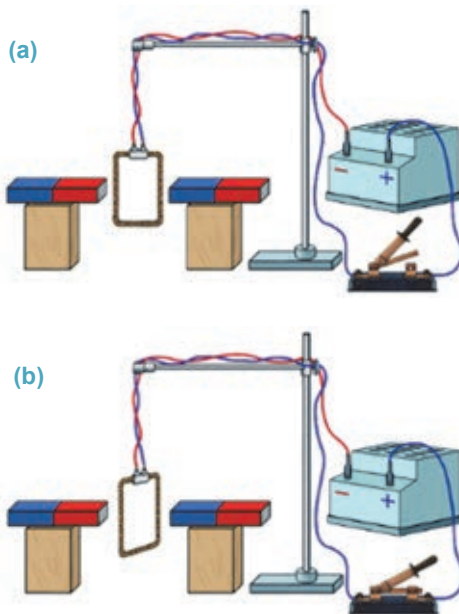
1

#### Действие магнитного поля на рамку с током.

**Оборудование:** источник постоянного тока (выпрямитель), полосовой магнит (2 шт.), проводящая рамка, состоящая из нескольких витков проводника, деревянный брусок (2 шт.), ключ, тонкие соединительные провода, изолирующий штатив.

#### Ход исследования:

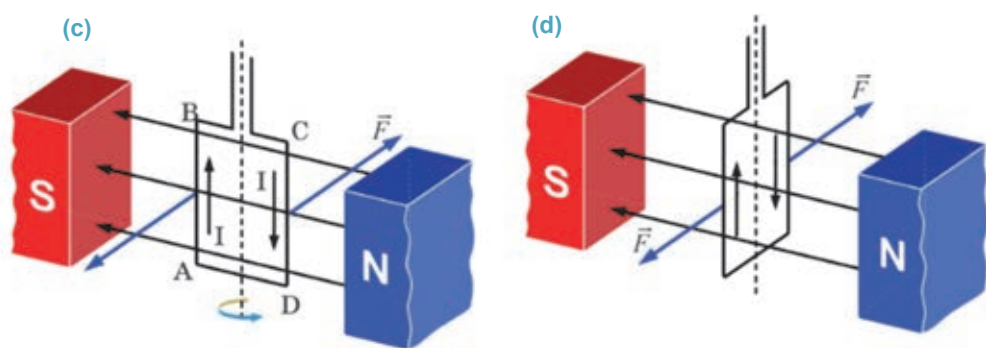
1. Подключите концы проводящей рамки соединительными проводами к источнику тока и поместите рамку вертикально между полюсами постоянных магнитов (a).
2. Замкните ключ и проследите, как движется рамка с током в магнитном поле (b).
3. Повторите опыт, изменив направление тока в рамке.



#### Обсудите результат:

- Что наблюдается при отсутствии тока в рамке, помещенной в магнитное поле?
- Что наблюдается при прохождении тока через рамку, помещенную в магнитное поле? Почему?
- Что происходит при изменении направления тока в рамке? Почему?

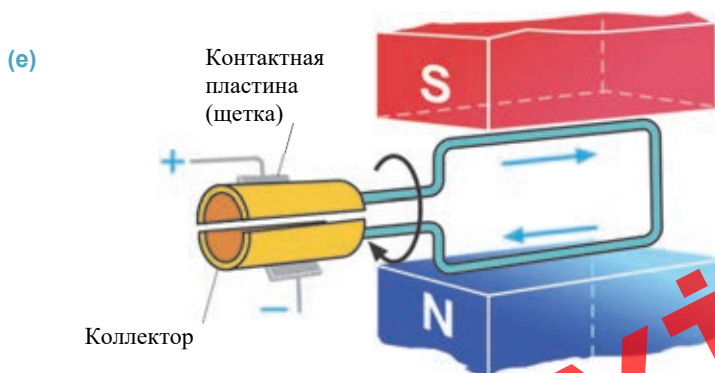
Прямоугольная рамка, состоящая из нескольких витков и способная вращаться вокруг вертикальной оси, помещена в магнитное поле. При отсутствии в рамке тока она находится в состоянии покоя. Если поместить проводящую рамку параллельно линиям индукции магнитного поля и пропускать по ней электрический ток, она начнет вращаться. Это происходит потому, что на боковые стороны рамки  $AB$  и  $CD$  действуют силы Ампера в направлении, перпендикулярном линиям магнитной индукции. Направление действия этих сил зависит от направления тока. Эта пара сил придает рамке вращательное движение вокруг вертикальной оси (с).



При изменении направления тока в рамке силы Ампера повернут рамку в противоположном направлении.

Когда же плоскость рамки перпендикулярна к горизонтальным линиям магнитной индукции, силы Ампера, действующие на ее боковые стороны, направлены в противоположные стороны вдоль прямой линии и рамка останавливается (d).

Для придания рамке вращательного движения в одном направлении необходимо периодически менять направление тока в ней. Для этой цели используются скрепленные с рамкой металлические полукольца – коллекторы (e).



По поверхности полуколец скользят контактные пластины, называемые *щетками*. Щетки подсоединяются к разным полюсам источника тока и обеспечивают прохождение тока через рамку. При повороте рамки на  $180^\circ$  полукольца меняются местами. В результате меняется направление тока в рамке, и она продолжает вращательное движение в том же направлении до прекращения тока в цепи.

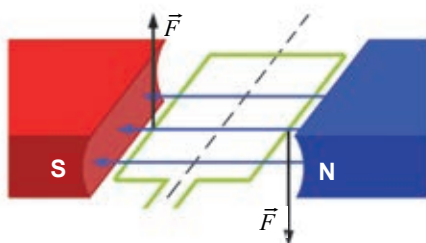
### Творческое применение

#### Исследование

2

**Задача.** Изобразите данный рисунок в рабочем листке и ...

- определите направление тока в рамке;
- покажите, что нужно сделать для изменения направления вращения рамки;
- расскажите, что необходимо сделать для непрерывного вращения рамки.



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

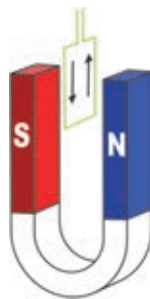
• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

- При расположении рамки с током параллельно к горизонтальным линиям магнитной индукции ...
- При расположении рамки с током перпендикулярно к горизонтальным линиям магнитной индукции ...
- Для обеспечения непрерывного вращения рамки с током в магнитном поле ...

#### Проверьте свои знания

1. Между полюсами подковообразного магнита подвешена легкая проводящая рамка перпендикулярно линиям магнитной индукции. При прохождении электрического тока через рамку, как показано на рисунке, рамка:

- будет находиться в устойчивом равновесии, то есть останется в своем первоначальном положении
  - будет находиться в неустойчивом равновесии, то есть в результате небольшого перемещения совершит вращательное движение, повернется на  $180^\circ$
  - передняя часть рамы будет оставаться в устойчивом равновесии после поворота на  $90^\circ$  слева направо
  - передняя часть рамы будет оставаться в устойчивом равновесии после поворота на  $90^\circ$  справа налево.
  - передняя часть рамы будет оставаться в устойчивом равновесии после поворота на  $45^\circ$  слева направо
- Какие преобразования энергии происходят во время вращения рамки с током в магнитном поле?
  - Как изменяется направление тока в рамке с током, вращающейся в магнитном поле?



Трудно себе представить нашу повседневную жизнь без электрических приборов и устройств. Например, вентилятор, электрический насос, пылесос, миксер, соковыжималка, дрель, подъемный кран, электропоезд и другие используемые электрические приборы.



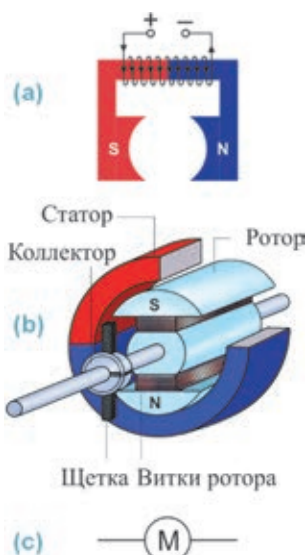
- Какие преобразования энергии происходят в этих электрических устройствах?
- На каком физическом явлении основывается такое преобразование энергии?

**Электродвигатель.** Основное место среди многих электрических приборов и оборудования, широко используемых в быту, технике и производстве, занимают электродвигатели.

• *Электродвигатель – это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую.*

Принцип его работы основывается на эффекте вращения рамки с током в магнитном поле под действием силы Ампера. Существуют электродвигатели разных конструкций, но наиболее распространенным из них является коллекторный двигатель. Этот двигатель состоит из трех основных частей: *статора, ротора и коллектора*.

**Статор** (от латинского слова *sto* – “стою”) – неподвижная часть электрического двигателя, состоящая из закрепленного к корпусу постоянного магнита или катушки с железным сердечником (электромагнита). Иногда статор называют *индуктором*. В статоре создается мощное магнитное поле (а).



**Ротор** (от латинского слова *roto* – “вращаю”) – является подвижной частью двигателя, установленной внутри статора. Ротор состоит из электромагнита в форме цилиндрического сердечника. Его иногда называют *якорем*. С целью подачи в ротор электрического тока и обеспечения его непрерывного вращения используются коллекторы и щетки.

**Как коллекторы и щетки обеспечивают непрерывное вращение ротора?** При прохождении электрического тока через ротор он, вращаясь под действием силы Ампера внутри статора, совершает механическую работу (б). Скорость вращения ротора зависит от силы тока, протекающего через него, а также от числа витков в роторе и статоре.

Электрический двигатель на схемах изображается в форме кружочка с буквой М внутри (с).

По сравнению с тепловыми двигателями электрические двигатели экологически более эффективны. Они не загрязняют окружающую среду, работают, можно сказать, бесшумно и экономичны. КПД электрического двигателя выше 90%.

### Исследование 1

#### Части электрического двигателя и принцип его работы.

**Оборудование:** источник постоянного тока, модель двигателя постоянного электрического тока, реостат, ключ, соединительные провода.

#### Ход исследования:

1. Рассмотрев модель электрического двигателя, определите его основные части (d).
2. Соберите последовательную цепь, состоящую из источника тока, модели электрического двигателя, реостата и ключа.
3. Замкните цепь. Определите, как зависит скорость вращения ротора от силы тока, которая увеличивается и уменьшается с помощью реостата.

#### Обсудите результат:

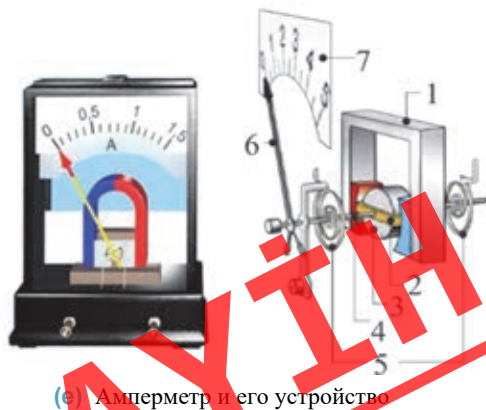
- На каком физическом явлении основывается принцип работы электрического двигателя?
- Как зависит скорость вращения ротора электрического двигателя от силы тока, проходящего через него?



**Электроизмерительные приборы.** Существуют разные системы электроизмерительных приборов: *магнитоэлектрические, электромагнитные и электродинамические*. Принцип работы всех этих приборов основывается на действии магнитного поля на проводник с током. Наиболее широко используются электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы.

**Измерительные приборы магнитоэлектрической системы.** Хорошо известные вам *амперметр, гальванометр и вольтметр* – измерительные приборы магнитоэлектрической системы (е).

Между полюсами дугообразного магнита (1) помещается рамка, состоящая из витков (2). Внутри рамки имеется неподвижный цилиндрический сердечник (3) из стали. При отсутствии тока закрепленные к оси рамки (4) спиралеобразные пружины (5) удерживают ее так, чтобы стрелка (6), припаянная к этой оси, стояла на нулевом делении шкалы (7).



(е) Амперметр и его устройство

При подключении прибора в цепь, через рамку проходит электрический ток, и на нее со стороны магнитного поля действует сила Ампера. В результате рамка вместе со стрелкой поворачивается вокруг стального сердечника. При этом спиралеобразные пружины закручиваются и создают дополнительную силу упругости. При равенстве вращательного момента, сообщаемого этой силой рамке, вращательному моменту силы Ампера поворот рамки прекращается, стрелка останавливается на определенном делении шкалы. При увеличении силы тока в цепи увеличивается и сила Ампера, действующая на рамку. Она еще больше поворачивается, еще больше смещая стрелку.

Аналогично устроен и измерительный механизм вольтметра. Но электрическое сопротивление вольтметра гораздо больше электрического сопротивления амперметра.

**Почему электрическое сопротивление вольтметра больше электрического сопротивления амперметра?** Для измерения силы тока в электрической цепи амперметр подключается в цепь последовательно. По этой причине сопротивление амперметра должно быть очень маленьким, чтобы оно не влияло на общую силу тока в цепи: если у него будет большое сопротивление, то оно резко уменьшит общую силу тока в цепи.

Вольтметр подключается к цепи или потребителям параллельно, так как измеряет напряжение на их концах. Сопротивление вольтметра должно быть очень большим, чтобы не менять силу тока в цепи, поэтому проходящий через него электрический ток должен быть ничтожно мал.

Принцип работы приборов электромагнитной системы основывается на притяжении под действием магнитного поля стального сердечника, закрепленного на вращающейся оси, к катушке с током (f).

## Творческое применение

### Исследование 2

#### Принцип работы прибора электромагнитной системы.

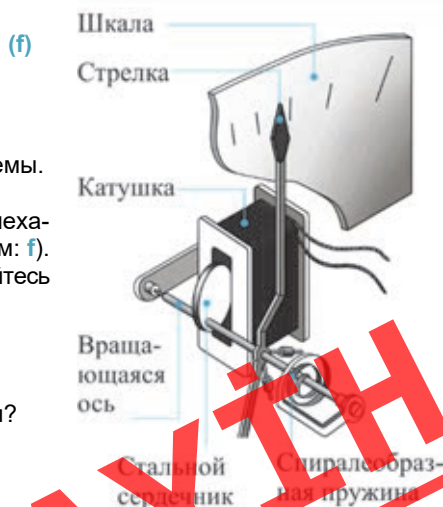
**Оборудование:** рисунок измерительного механизма прибора электромагнитной системы.

**Ход исследования.**

На рисунке представлен измерительный механизм прибора электромагнитной системы (см: f). Внимательно исследуйте рисунок и постарайтесь объяснить принцип работы прибора.

**Обсудите результат:**

- В чем сходство и различие в принципе работы измерительных приборов электромагнитных и магнитоэлектрических систем?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.**

1. Электродвигатель...
2. Основные части электродвигателя...
3. Принцип работы электроизмерительных приборов...
4. Принцип работы измерительного прибора магнитоэлектрической системы...
5. Принцип работы измерительного прибора электромагнитной системы...

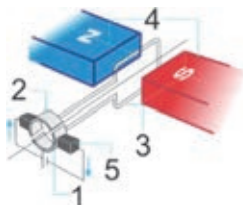
### Проверьте свои знания

1. Какие превращения энергии происходят в тепловых и электрических двигателях?
2. Какой двигатель более эффективен с экологической точки зрения: тепловой или электрический? Ответ обоснуйте.
3. У какого двигателя КПД больше: теплового или электрического? Почему?
4. На каком физическом явлении основывается принцип работы электроизмерительного прибора?
5. Чем отличается измерительный механизм приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
6. Почему электрическое сопротивление вольтметра во много раз больше электрического сопротивления амперметра?

### Упражнение

**2.5**

1. На рисунке представлена упрощенная схема устройства электродвигателя.



На основании схемы...

- а) определите, какие части электродвигателя показаны соответствующими цифрами.
- б) объясните принцип работы двигателя.

2. На рисунке показано поперечное сечение электродвигателя, через витки которого протекает ток. В каком направлении вращается ротор: по часовой стрелке или в обратном направлении?



3. Что произойдет, если вольтметр подключить в цепь последовательно? Что произойдет, если амперметр подключить в цепь параллельно? Почему?

4. Почему клемму “+” амперметра магнитоэлектрической системы нельзя подключать к клемме “-” источника тока?

5. На рисунке показано поперечное сечение электродвигателя. Определите полюсы электромагнита (статора) и направление вращения ротора.



## 2.12

## ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ДВИЖУЩИЕСЯ ЗАРЯДЫ. СИЛА ЛОРЕНЦА



- Почему магнитное поле действует на проводник с током, но не действует, когда через него ток не проходит?
- Магнитное поле действует на проводник или на движущиеся в проводнике заряженные частички?

### Исследование

1

#### Действие магнитного поля на движущийся поток заряженных частиц.

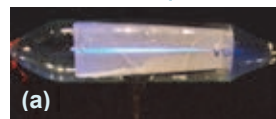
**Оборудование:** двухэлектродная стеклянная трубка с разряженным воздухом, высоковольтный выпрямитель, постоянный полосовой магнит, соединительные провода, экран черного цвета, изолирующий штатив.

#### Ход исследования:

1. Закрепите стеклянную трубку к изолирующему штативу, установите за ним черный экран.
2. Подсоединив электроды трубки к выпрямителю, замкните цепь, медленно повышайте напряжение на концах электродов до появления в трубке прямой светящейся полосы (a) потока заряженных частиц.
3. Сначала приблизьте к трубке один полюс магнита, а затем другой полюс и проследите за направлением потока заряженных частиц (b и c).

#### Обсудите результат:

- Поток каких частичек возникает при подаче высокого напряжения на электроды трубки с разряженным воздухом?
- Почему при приближении полюса магнита к потоку движущихся зарядов меняется траектория его движения?
- Какой полюс магнита действует на поток движущихся зарядов с силой притяжения, а какой с силой отталкивания? Существует ли связь этого действия с силой Ампера?



Так как электрический ток представляет собой упорядоченное движение заряженных частичек, то магнитное поле, действуя на ток, действует и на каждую движущуюся заряженную частичку. Таким образом, силу Ампера можно рассматривать как сумму сил, действующих на каждую частичку.

• Сила, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля, называется **силой Лоренца**. Эта сила названа так в честь голландского физика Хендрика Антона Лоренца.



Хендрик Антон Лоренц  
(1853-1928)  
Голландский физик

- Известен своими работами в области электродинамики и оптики. Он основатель электронной теории строения вещества.

ЛАЙН

**Сила Лоренца.** Модуль силы Лоренца можно определить из формулы

$$F_L = \frac{F_A}{N}.$$

Здесь  $F_A$  – сила Ампера,  $N$  – общее количество свободных заряженных частиц в части прямого проводника длиной  $l$ , помещенного в магнитное поле. Если модуль заряда одной частицы  $q$ , а модуль заряда всех частиц будет  $N \cdot q$ , то сила тока в проводнике будет равна  $I = \frac{Nq}{t}$ . Здесь  $t$  – время, затраченное заряженной частицей на прохождение части провода длиной  $l$  (d). В таком случае получим:

$$F_L = \frac{F_A}{N} = \frac{IBl \sin \alpha}{N} = \frac{NqBl \sin \alpha}{Nt} = \frac{qBl \sin \alpha}{t}.$$

Приняв во внимание, что  $\frac{l}{t} = v$ , получим нужную формулу для определения модуля силы Лоренца:

$$F_L = qBv \sin \alpha.$$

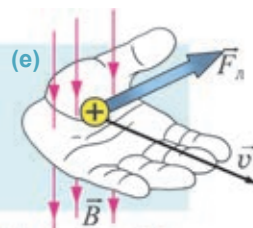
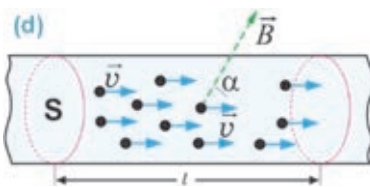
Здесь  $v$  – средняя скорость упорядоченного движения заряженной частицы в магнитном

поле,  $\alpha$  – угол между вектором индукции магнитного поля  $\vec{B}$  и вектором скорости  $\vec{v}$  положительного заряда. При вхождении заряженной частицы в магнитное поле в направлении, перпендикулярном линиям индукции, сила Лоренца будет иметь максимальное значение:

$$F_{L \max} = qBv.$$

Максимальная сила Лоренца перпендикулярна векторам  $\vec{B}$  и  $\vec{v}$  и ее направление определяется *правилом левой руки*.

**Правило левой руки для силы Лоренца:** левую руку надо поместить в магнитное поле так, чтобы вектор магнитной индукции входил перпендикулярно в ладонь, а четыре пальца вытянулись по направлению движения положительного заряда (против направления движения отрицательного заряда). При этом отогнутый на  $90^\circ$  большой палец покажет направление действующей на заряд силы Лоренца (e).



При вхождении же заряженной частицы в магнитное поле в направлении, параллельном линиям индукции ( $\alpha=0^\circ$  или  $\alpha=180^\circ$ ), сила Лоренца будет равна нулю:

$$F_L = 0.$$

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** Определите на основании приведенного изображения:

- направление скорости положительного заряда, влетающего в однородное магнитное поле;
- направление силы Лоренца, действующей на отрицательный заряд, влетающий в однородное магнитное поле.



## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. На движущуюся в магнитном поле заряженную частицу ...
2. Модуль силы Лоренца...
3. Правило левой руки для силы Лоренца ...

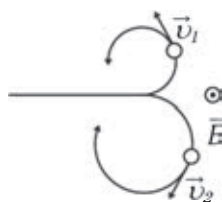
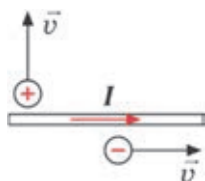
## Проверьте свои знания

1. Как определяется модуль силы, действующей на движущуюся заряженную частицу в магнитном поле?
2. Заряженная частица влетает в магнитное поле в направлении, перпендикулярном линиям индукции. По какой траектории она будет двигаться?
3. Незаряженная частица влетает в магнитное поле в направлении, перпендикулярном линиям индукции. По какой траектории она будет двигаться?
4. Заряженная частица влетает в магнитное поле в направлении, параллельном линиям индукции. По какой траектории она будет двигаться?

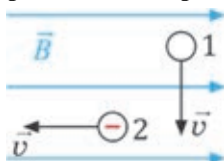
## Упражнение

2.6

1. Электрон движется в магнитном поле с индукцией  $B = 10 \text{ мТл}$  в направлении, перпендикулярном линиям индукции, со скоростью  $v = 4 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ . Вычислите модуль действующей на него силы Лоренца ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ).
2. На рисунке представлены частицы, движущиеся в магнитном поле прямого проводника с током. Определите направление силы Лоренца, действующей на эти частицы.
3. На рисунке представлены траектории движения электрона и протона в магнитном поле. Какая траектория принадлежит протону, а какая электрону?



4. По какой траектории продолжают свое движение в однородном магнитном поле незаряженная частица 1 и отрицательно заряженная частица 2?



5. Электрон влетает в магнитное поле с индукцией  $B = 1,6 \text{ мТл}$  под углом  $30^\circ$  к линиям индукции со скоростью  $v = 5,6 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ . Вычислите модуль действующей на него силы Лоренца ( $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ ).

## 2.13 ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ



- В чем заключается суть опыта Эрстеда?
- Что является, по предположению Ампера, источником магнитного поля?
- Может ли магнитное поле создать электрический ток?

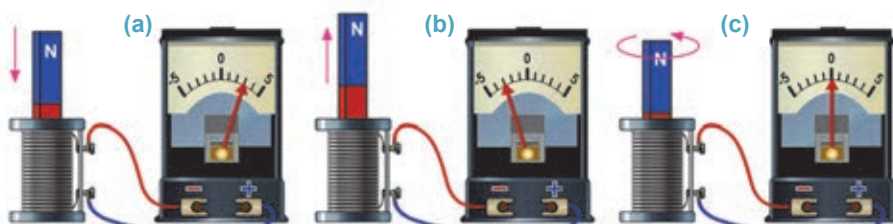
### Исследование 1

#### Что создает электрический ток в катушке?

**Оборудование:** катушка, полосовой магнит, гальванометр, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Подсоедините зажимы катушки к гальванометру.
2. Вставляйте и вынимайте полосовой магнит из катушки и обращайтесь при этом внимание на стрелку гальванометра (**a** и **b**).
3. Поместив полосовой магнит внутрь катушки, оставьте его в покое, а затем, не отрывая магнит от поверхности стола, вращайте его, не вынимая из катушки и проследите за стрелкой гальванометра (**c**).



**Обсудите результат:**

- Стрелка гальванометра смещается то вправо, то влево при введении магнита в катушку или выведении из нее. Какой вывод можно из этого сделать?
- Когда магнит покоится внутри катушки или совершает в ней вращательное движение, стрелка гальванометра устанавливается на нуле. Что это означает?
- Какие предположения можно сформулировать по результатам исследования?

Проведенные Эрстедом опыты (1820 год) доказали, что электрический ток создает вокруг себя магнитное поле. На основании этих опытов Ампер выдвинул гипотезу о “молекулярных токах”.

**Может ли магнитное поле создать электрический ток, если электрический ток создает магнитное поле?** Английский ученый Майкл Фарадей в 1831 году впервые дал ответ на этот вопрос. Путем многочисленных опытов он определил, что изменение магнитного поля создает электрический ток в замкнутом проводящем витке (контуре).



Майкл Фарадей  
(1791–1867)  
Английский физик

- Открыл явление электромагнитной индукции, дал первую конструкцию генератора электрического тока, открыл законы электролиза. Опытным путем доказал закон сохранения электрических зарядов, выдвинул идею об электромагнитной природе света. Он ввел в науку такие понятия, как “катод”, “анод”, “ион”, “электролиз”, “электролит”.

В проведенном исследовании вы тоже выполнили некоторые из опытов Фарадея. Было установлено, что при введении постоянного магнита в катушку или выведении его из катушки в витках катушки возникает электрический ток. Смещение в противоположные направления стрелки гальванометра при движении магнита в том или другом направлении показывает изменение направления электрического тока, возникающего в витках. Если же магнит в катушке находится в состоянии покоя или вращается на одном месте, то в витках ток не возникает. Отсюда можно прийти к такому выводу, что при произвольном поступательном движении магнита вдоль катушки в ее замкнутых витках возникает электрический ток. Это явление называется *явлением электромагнитной индукции*, а ток, возникающий в замкнутых витках, – *индукционным током*.

• *Возникновение электрического тока в замкнутых витках, находящихся в переменном магнитном поле, называется **явлением электромагнитной индукции**, а возникающий ток называется **индукционным током**.*

**Что означает изменение магнитного поля?** Изменение числа линий индукции постоянного магнита (увеличение или уменьшение), проходящих через сечение замкнутого витка, означает изменение магнитного поля (**d**).



Изменения магнитного поля можно добиться не только поступательным движением постоянного магнита внутри катушки, но и другими способами. Например, если постоянный магнит заменить электромагнитом, то изменения магнитного поля катушки можно добиться изменением силы тока в электромагните. Или, если замкнутый контур (здесь и далее имеется в виду проводящий контур), перемещаясь, пересекает линии индукции поля постоянного магнита, то в этом контуре возникает индукционный ток. Но при поступательном движении катушки в однородном магнитном поле индукционный ток в ней не возникает, потому что число линий индукции поля, пронизывающих сечение катушки, не изменяется.

## Исследование

2

**Получение индукционного тока в электромагните.**

**Оборудование:** источник постоянного тока, реостат, катушка (2 штуки), длинный железный сердечник, ключ, гальванометр, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Создайте электромагнит, поместив внутрь катушки 1 железный сердечник. Соедините последовательно клеммы электромагнита с реостатом, ключом и источником постоянного тока.
2. Соедините вторую катушку (2) с гальванометром, надев ее на выступающий из электромагнита железный сердечник (е).
3. Сначала замкните и разомкните ключ, а затем, двигая ползунок реостата вправо и влево при замкнутом положении ключа, меняйте силу тока в электромагните 1. Во всех случаях проследите за показаниями подключенного к катушке 2 гальванометра.

**Обсудите результат:**

- Почему произвольные изменения силы тока в электромагните 1 приводят к возникновению индукционного тока в катушке 2?
- Как влияет увеличение и уменьшение силы тока в электромагните 1 на направление индукционного тока, возникающего в катушке 2?



## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

- Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Явление электромагнитной индукции...
2. Индукционный ток...
3. Изменение магнитного поля...

**Проверьте свои знания**

1. В чем заключается явление электромагнитной индукции?
2. Возникает ли индукционный ток при поступательном движении катушки с неподвижным магнитом внутри? Почему?
3. Возникает ли индукционный ток в замкнутом контуре при движении его в поле постоянного магнита, как показано на рисунке? Ответ обоснуйте.



Известно, что для возникновения электрического тока в проводнике необходимо наличие в нем свободных носителей заряда и электрического поля, приводящего их в упорядоченное движение. Направление же электрического тока определяет напряженность электрического поля. Так, свободные электроны в металлическом проводнике двигаются в направлении, противоположном линиям напряженности электрического поля, но за направление тока принято направление линий напряженности.



- Какое поле создает индукционный ток в замкнутом контуре: переменное магнитное поле или электрическое поле?
- Как можно определить направление индукционного тока?

### Исследование

1

#### Опыт Ленца.

**Оборудование:** устройство Ленца, постоянный магнит (полосовой или дугообразный).

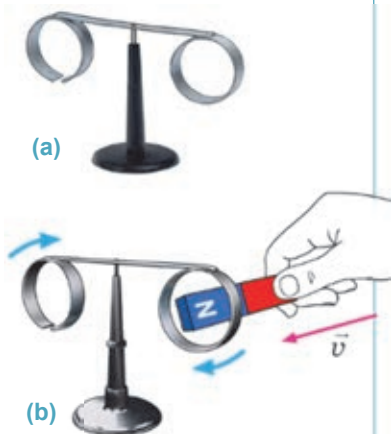
**Описание устройства Ленца:** основные части, из которых состоит устройство, это стержень, на котором закреплены два алюминиевых кольца — один замкнутое, а другой с разрезом. Стержень помещается на острый наконечник (а).

**Ход исследования:**

1. Медленно введите один из полюсов магнита в замкнутое кольцо и проследите за возникшим явлением (b).
2. Оставьте неподвижно магнит внутри кольца, а затем его медленно выведите из кольца. Проследите за возникшим явлением.
3. Повторите опыт с другим полюсом магнита.
4. Повторите опыт с кольцом с разрезом: последовательно введите и выведите полюсы магнита в кольцо с разрезом. Сравните наблюдаемые явления.

**Обсудите результат:**

- Что наблюдается при введении полюсов магнита в замкнутое кольцо?
- Что произошло при неподвижном состоянии магнита внутри кольца?
- Что наблюдается при удалении магнита из замкнутого кольца?
- Что наблюдается при повторении опыта с кольцом с разрезом?
- Какой вывод можно сделать из опытов?



**Причина возникновения индукционного тока.** Индукционный ток, как и другие электрические токи, создается электрическим полем.

**Как появляется электрическое поле, создающее индукционный ток?**

Конечно, это поле создается переменным магнитным полем. *В пространстве вокруг переменного магнитного поля всегда наблюдается возникновение вихревого электрического поля.*

Причиной упорядоченного движения свободных электронов в замкнутом контуре (катушке), вызывающей индукционный ток, является не магнитное поле, а вихревое электрическое поле.

Вихревое электрическое поле резко отличается от электростатического поля:

а) электростатическое поле создается неподвижным электрическим зарядом, а вихревое электрическое поле – переменным магнитным полем;

б) линии напряженности электростатического поля начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных зарядах. Линии напряженности вихревого электрического поля не имеют ни начала, ни конца. Они, как и линии магнитной индукции, замкнуты.

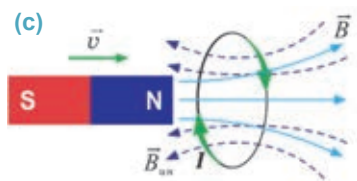
**Как можно определить направление индукционного тока?** В проведенном исследовании вы определили, что при введении магнита в замкнутое кольцо оно отталкивается от магнита, а при удалении магнита из кольца, наоборот, притягивается к магниту. Этот эффект повторяется для обоих полюсов магнита. Однако при неподвижном состоянии магнита внутри кольца никакого взаимодействия между магнитом и кольцом не возникает. При введении и удалении магнита из незамкнутого кольца так же не наблюдается никакого явления. Это объясняется тем, что в результате произвольного изменения магнитного поля в сечении замкнутого контура в этом контуре создается индукционный ток, а в кольце с разрезом (разомкнутый контур) индукционный ток не возникает. Значит, *причиной возникновения индукционного тока в замкнутом контуре является изменение числа линий индукции в этом контуре.*

При введении магнита в кольцо возникающий индукционный ток принимает такое направление, что создаваемое этим током магнитное поле противодействует усилению магнитного поля постоянного магнита. При удалении же магнита из кольца возникающий индукционный ток принимает такое направление, что магнитное поле, создаваемое этим током, противодействует ослаблению магнитного поля постоянного магнита.

В 1833 году русский физик Эмиль Ленц, исследующий эти явления, установил общее правило, определяющее направление индукционного тока – *правило Ленца*:

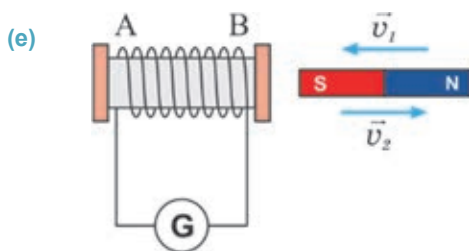
• **Индукционный ток принимает такое направление, что созданное им магнитное поле оказывает противодействие произвольному изменению внешнего магнитного поля, создающего этот ток.**

Это означает, что если внешнее магнитное поле будет усиливаться, то магнитное поле индукционного тока попытается его “ослабить”. При этом магнитная индукция индукционного тока направлена против индукции внешнего магнитного поля (с). Если же внешнее магнитное поле будет ослабевать, то магнитное поле индукционного тока попытается его “усилить”. При этом магнитная индукция индукционного тока направлена вдоль индукции внешнего магнитного поля (d).



## Исследование 2

**Задача.** Какие полюсы возникнут на концах **А** и **В** катушки при введении и удалении южного полюса постоянного магнита из катушки (**е**)?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.**

1. Переменное магнитное поле в окружающем пространстве всегда ...
2. Разница между вихревым электрическим полем и электростатическим полем ...
3. Правило Ленца для направления индукционного тока ...

### Проверьте свои знания

1. Почему при введении постоянного магнита в замкнутый контур он отталкивается от магнита?
2. Почему между движущимся постоянным магнитом и незамкнутым контуром никакого взаимодействия не возникает? Ответ обоснуйте.
3. От чего зависит направление индукционного тока?
4. Сформулируйте правило Ленца.

### Практическая работа

#### Изучение явления электромагнитной индукции.

**Оборудование:** гальванометр, замкнутый контур из нескольких витков, магнит (половой или дугообразный), соединительные провода.

#### Ход исследования:

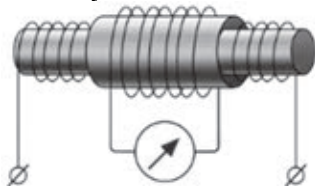
1. Соедините контур к клеммам гальванометра.
2. Перепишите в рабочий листок приведенную таблицу для регистрации результатов опыта:

| № | Способ получения индукционного тока              | Смещение стрелки гальванометра (вправо, влево) |
|---|--------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1 | При введении в контур северного полюса магнита   |                                                |
| 2 | При удалении из контура северного полюса магнита |                                                |
| 3 | При введении в контур южного полюса магнита      |                                                |
| 4 | При удалении из контура южного полюса магнита    |                                                |
| 5 | При введении магнита в катушку                   |                                                |
| 6 | При удалении магнита из катушки                  |                                                |

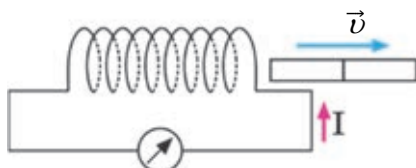
3. Поместите контур вертикально на поверхности стола. Введите и удалите из контура северный полюс магнита. Запишите результаты наблюдения в таблицу.
4. Введите и удалите из контура южный полюс магнита. Запишите результаты наблюдения в таблицу.
5. Поместите магнит вертикально на поверхности стола. Введите и удалите контур из магнита. Запишите результаты наблюдения в таблицу.

**Упражнение 2.7**

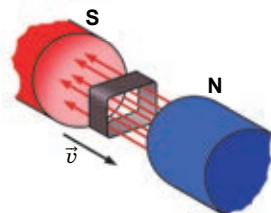
1. Две неподвижные катушки расположены так, как показано на рисунке. Подключенный к одной из катушек гальванометр показывает возникновение индукционного тока. В каком случае это возможно?



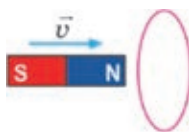
2. Определите полюсы полосового магнита на основании рисунка.



3. Четырехугольный замкнутый контур движется между полюсами электромагнита, как представлено на рисунке. Возникнет ли в этом контуре индукционный ток? Почему?



4. Возникает ли индукционный ток при поступательном движении катушки в однородном магнитном поле? Почему?
5. Полосовой магнит приближается к замкнутому контуру, как показано на рисунке. Определите направление индукционного тока, возникающего в контуре.



## 2.15 МАГНИТНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Как вы узнали, при введении железного сердечника в катушку с током его магнитное действие усиливается.



- Как изменяется магнитное поле катушки с током при введении в нее поочередно сердечников из стали, стекла, сухого дерева, пластмассы, меди и алюминия?
- Зависит ли магнитное поле проводника с током от свойств окружающего его пространства? Ответ обоснуйте.

### Исследование

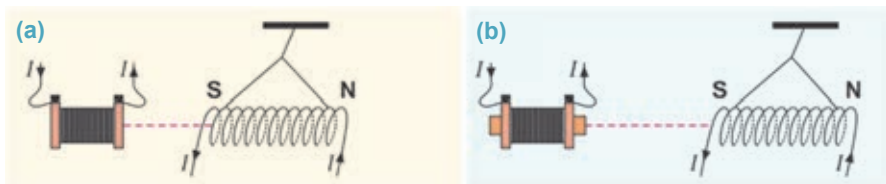
1

**Зависит ли магнитное поле от свойств окружающей среды?**

**Оборудование:** источник постоянного тока, катушка (2 штуки), изолирующий штатив, шелковая нить, железный сердечник, медный и стеклянный сердечники, соединительные провода.

**Ход исследования:**

1. Подсоедините к источнику постоянного тока две катушки: одну в неподвижном состоянии, а другую – подвешенную на шелковой нити.
2. Замкнув цепь, приблизьте катушку на шелковой нити (на рисунке показано схематически) к неподвижной катушке (а). Обратите внимание, с какого расстояния возникает магнитное взаимодействие.
3. Повторите опыт, поместив внутрь неподвижной катушки железный сердечник, и проследите, как изменилось магнитное взаимодействие (б).
4. Повторите опыт, заменив железный сердечник поочередно на медный и стеклянный сердечники, и сравните возникшие явления с результатами предыдущих опытов.



**Обсудите результат:**

- В каком случае магнитное взаимодействие между катушками с током усилилось, а в каком случае ослабло?
- Какой вывод можно сделать из исследования о зависимости магнитного поля от свойства вещества?

В ходе исследования вы определили, что помещенное в магнитное поле катушки с током вещество (сердечник) изменяет это поле: железный сердечник существенно усиливает магнитное поле, а медный и стеклянный сердечники ослабляют магнитное поле.

• *Вещества, способные изменить магнитное поле, называются магнетиками.*

**Почему магнетики по-разному изменяют магнитное поле?** При отсутствии сердечника внутри катушки с током вектор магнитной индукции обозначим  $\vec{B}_0$  (модуль магнитной индукции в воздухе считается равным модулю

магнитной индукции в вакууме). При введении в катушку с током сердечника в ней возникает дополнительное магнитное поле с индукцией  $\vec{B}_{ин}$ . Таким образом, суммарное магнитное поле катушки с током:

$$\vec{B}_0 + \vec{B}_{ин} = \vec{B}.$$

Разные вещества создают разные магнитные индукции, это значит, что их магнитные свойства различаются. Магнитные свойства веществ характеризуются физической величиной, называемой *магнитной проницаемостью вещества*.

*Магнитная проницаемость вещества показывает, во сколько раз модуль магнитной индукции однородного магнитного поля в веществе отличается от модуля магнитной индукции поля в вакууме  $B_0$ :*

$$\mu = \frac{B_0 + B_{ин}}{B_0} = \frac{B}{B_0}, \quad B = \mu B_0.$$

Здесь  $\mu$  (мю) – магнитная проницаемость вещества. Это *безразмерная величина*.

Вещества по своим магнитным свойствам делятся на три вида:

1. *Парамагнетики* – вещества, магнитная проницаемость которых незначительно больше единицы ( $\mu > 1$ ). Парамагнетики (*Al, Li, O<sub>2</sub>, Na* и другие) слабо притягиваются постоянными магнитами.

2. *Диамагнетики* – вещества, магнитная проницаемость которых незначительно меньше единицы ( $\mu < 1$ ). Диамагнетики (*Cu, Ag, Au* и все инертные газы) слабо отталкиваются постоянными магнитами.

3. *Ферромагнетики* – вещества, магнитная проницаемость которых во много раз больше единицы ( $\mu \gg 1$ ). Ферромагнетики (*Gd, Fe, Ni, Co* и некоторые их сплавы) сильно притягиваются постоянными магнитами. Все ферромагнетики – кристаллические вещества.

Магнитная проницаемость некоторых веществ показана в таблице 2.1

**Таблица 2.1.** Магнитная проницаемость некоторых веществ

| Диамагнитные вещества | $\mu$    | Парамагнитные вещества | $\mu$     | Ферромагнитные вещества | $\mu$  |
|-----------------------|----------|------------------------|-----------|-------------------------|--------|
| Висмут                | 0,999834 | Воздух                 | 1,000038  | Железо                  | 8000   |
| Медь                  | 0,999990 | Алюминий               | 1,000023  | Никель                  | 1100   |
| Золото                | 0,999964 | Кислород               | 1,0000019 | Сплав никеля и железа   | 250000 |

Для каждого ферромагнетика существует предельная температура, называемая *точкой Кюри*. При нагревании выше этой температуры он теряет ферромагнитные свойства и превращается в парамагнетик. Например, температура Кюри для железа равна 769°C. Поэтому железные гвозди, нагретые до температуры 800°C, размагничиваются.

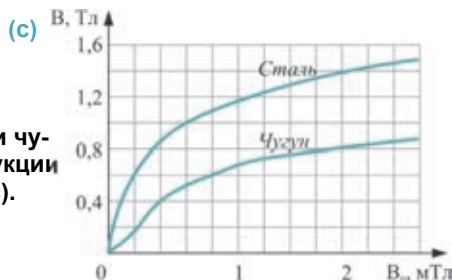
## Исследование 2

### Задача

- Определите по данному графику магнитную проницаемость для стали и чугуна, соответствующую значению индукции намагничиваемого поля  $B_0 = 2,2 \text{ мТл}$  (с).

### Обсудите результат:

- У какого из веществ магнитная проницаемость больше?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их: 1. Магнетики – ... 2. Магнитная проницаемость вещества – ... 3. Папарамагнетики – ... 4. Диамагнетики – ... 5. Ферромагнетики – ...

### Проверьте свои знания

1. Каков физический смысл магнитной проницаемости вещества?
2. На какие виды делятся вещества по магнитным свойствам?
3. Чем отличаются ферромагнетики от пара- и диамагнетиков?

## 2.16 СРАВНЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО, ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И МАГНИТНОГО ПОЛЕЙ (УРОК-ПРЕЗЕНТАЦИЯ)

Подготовьте электронную презентацию по обобщающему сравнению гравитационного, электрического и магнитного полей. При подготовке к презентации вы можете воспользоваться данными ключевыми словами (или предложениями), сравнительными таблицами 2.2 и 2.3 и планом.

### Ключевые слова и предложения

Электрический заряд;  
Масса;  
Магнитное поле;  
Напряженность электрического поля;  
Силовая характеристика;  
Напряженность гравитационного поля;  
Индукция магнитного поля;  
Закон Ампера;  
Направление силовых линий гравитационного поля;

Сила, действующая на массу в гравитационном поле;  
Сила, действующая на заряд в электрическом поле;  
Направление силовых линий магнитного поля;  
Направление силовых линий электрического поля;  
Работа, совершаемая при перемещении заряда в электрическом поле;  
Пробное тело;

Закон Кулона;  
Сила Ампера;  
Сила Лоренца;  
Сила Кулона;  
Сила всемирного тяготения;  
Работа, совершаемая при перемещении тела в гравитационном поле;  
Пробный заряд;  
Закон всемирного тяготения.

Таблица 2.2. Сравнение характеристик гравитационного и электрического полей

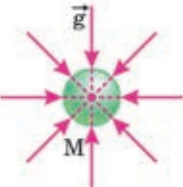
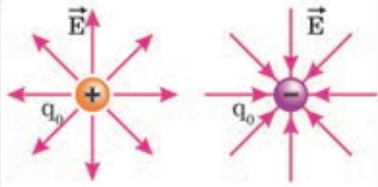
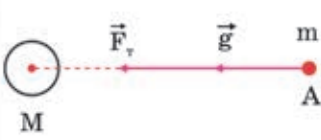
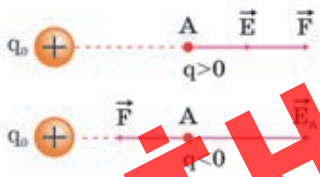
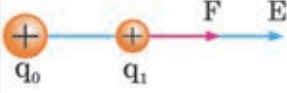
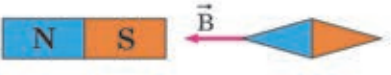
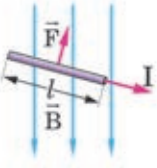
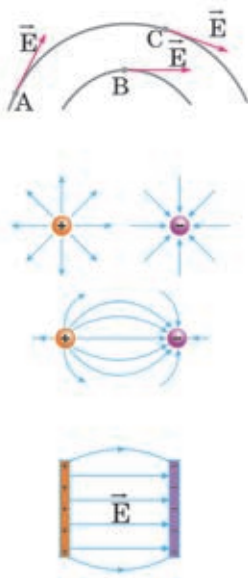
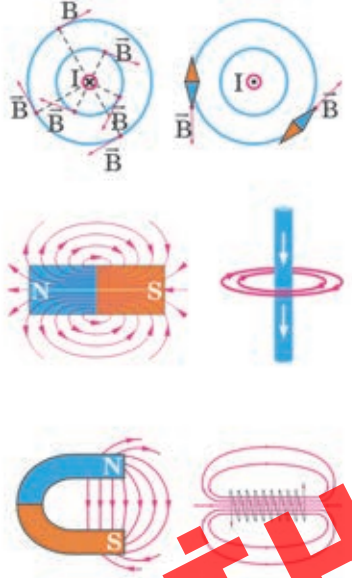
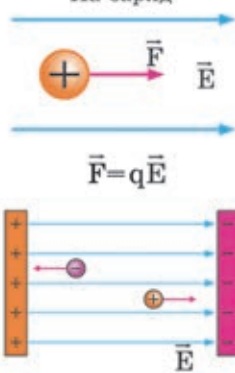
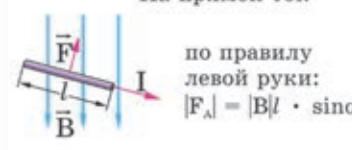
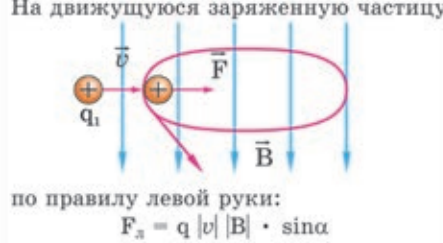
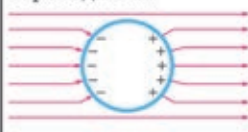
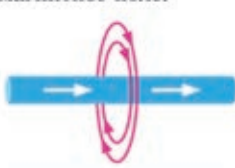
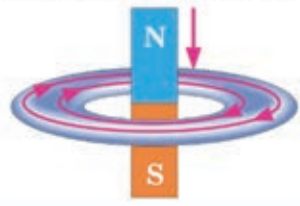
| ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ                                 | ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ                                                                                                     | ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ                                                                                                      |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. ИСТОЧНИК                                         | Гравитационный заряд, $M$                                                                                               | Неподвижный электрический заряд, $q$                                                                                    |
| 2. НА ЧТО ДЕЙСТВУЕТ                                 | На пробную массу, $m$                                                                                                   | На электрический заряд, $q$                                                                                             |
| 3. ОСНОВНАЯ ФОРМУЛА, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ | Закон всемирного тяготения<br>$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$                                                               | Закон Кулона<br>$F = k \frac{ q_1   q_2 }{r^2}$                                                                         |
| 4. СИЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОЛЯ                      | Напряженность гравитационного поля<br> | Напряженность электрического поля<br> |
| Направление                                         |                                                                                                                         |                                                                                                                         |
| Модуль                                              | $g = \frac{F}{m}$                                                                                                       | $E = \frac{F}{q}$                                                                                                       |
| Единица                                             | $[g] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$                                                                                    | $[E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$                                                                                    |
| 5. МОДУЛЬ НАПРЯЖЕННОСТИ ПОЛЯ                        | Созданного точечным гравитационным зарядом<br>$g = G \frac{M}{r^2}$                                                     | Созданного точечным электрическим зарядом в вакууме<br>$E = k \frac{ q_0 }{r^2}$                                        |
| 6. СИЛА, ДЕЙСТВУЮЩАЯ В ПОЛЕ НА ЗАРЯД                | $\vec{F}_T = m\vec{g}$<br>           | $\vec{F} = q\vec{E}$<br>            |
| 7. РАБОТА ПОЛЯ                                      | $A = mgh$                                                                                                               | $A = qEd$                                                                                                               |

Таблица 2.3. Сравнение характеристик электрического и магнитного полей

|    | СРАВНИВАЕМЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ         | ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ                                                                                                                                                                                                                                     | МАГНИТНОЕ ПОЛЕ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | 1                             | 2                                                                                                                                                                                                                                                      | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| 1. | ЧТО СОЗДАЕТ ПОЛЕ              | Электрический заряд                                                                                                                                                                                                                                    | Постоянные магниты или проводник с током                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| 2. | С ПОМОЩЬЮ ЧЕГО ИЗУЧАЕТСЯ ПОЛЕ | Точечный пробный заряд                                                                                                                                                                                                                                 | Элемент тока, магнитная стрелка                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 3. | СИЛОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА        | <p>Напряженность электрического поля <math>\vec{E}</math></p>  <p>Направление</p> <p>Модуль</p> $E = \frac{F}{q}$ <p>Единица</p> $[E] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$ | <p>Индукция магнитного поля <math>\vec{B}</math></p>  $B = \frac{F_m}{Il}$  <p>Единица</p> $[B] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \text{Тл}$ |
| 4. | СИЛОВЫЕ ЛИНИИ                 |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                              |

Продолжение таблицы 2.3

| 1                    | 2                                                                                                                                                                                                                                        | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5. ДЕЙСТВИЕ ПОЛЯ     | <p>На заряд</p>  <p><math>\vec{F} = q\vec{E}</math></p>                                                                                                 | <p>На прямой ток</p>  <p>по правилу левой руки:<br/><math> F_A  =  B  \cdot l \cdot \sin \alpha</math></p> <p>На движущуюся заряженную частицу</p>  <p>по правилу левой руки:<br/><math>F_L = q  v   B  \cdot \sin \alpha</math></p> |
| 6. ВЕЩЕСТВО В ПОЛЕ   | <p>Проводники</p>  <p>Внутри нет поля.<br/>Диэлектрики:<br/><math>\epsilon = \frac{E_0}{E}</math>,<br/>ослабления поля в <math>\epsilon</math> раз.</p> | <p><math>\mu = \frac{B}{B_0}</math></p> <p>Парамагнетики: <math>\mu &gt; 1</math>, поле усиливается.<br/>Диамагнетики: <math>\mu &lt; 1</math>, поле ослабевает.<br/>Ферромагнетики: <math>\mu \gg 1</math>, поле значительно усиливается.</p>                                                                                                                                                           |
| 7. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЛЕЙ | <p>Электрическое поле создает ток.<br/>Ток же создает магнитное поле.</p>                                                                             | <p>Изменение магнитного поля вызывает в замкнутом проводящем контуре ток.</p>                                                                                                                                                                                                                                        |

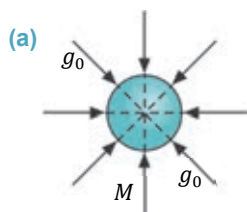
## Подготовка презентации

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Название презентации</li> <li>• Подготовил (класс, имя и фамилия ученика)</li> </ul>                                                                                                                                          |
| <b>2-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Источник гравитационного поля</li> <li>• Источник электрического поля</li> <li>• Источник магнитного поля</li> </ul>                                                                                                          |
| <b>3-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• С помощью чего изучается гравитационное поле?</li> <li>• С помощью чего изучается электрическое поле?</li> <li>• С помощью чего изучается магнитное поле?</li> </ul>                                                          |
| <b>4-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Силовая характеристика гравитационного поля: направление, модуль</li> <li>• Силовая характеристика электрического поля: направление, модуль</li> <li>• Силовая характеристика магнитного поля: направление, модуль</li> </ul> |
| <b>5-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Силовые линии гравитационного поля</li> <li>• Силовые линии электрического поля</li> <li>• Силовые линии магнитного поля</li> </ul>                                                                                           |
| <b>6-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Сила гравитационного поля, действующая на пробное тело</li> <li>• Сила электрического поля, действующая на пробный заряд</li> <li>• Сила магнитного поля, действующая на проводник с током</li> </ul>                         |
| <b>7-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Тела в гравитационном поле</li> <li>• Проводники и диэлектрики в электрическом поле</li> <li>• Магнетики в магнитном поле</li> </ul>                                                                                          |
| <b>8-й слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Взаимосвязь разных физических полей</li> </ul>                                                                                                                                                                                |

2.17

## Под каким воздействием гравитационного, электрического и магнитного полей Земли мы находимся? (УРОК-ДЕБАТЫ)

Источником гравитационного поля является масса. Силовой характеристикой гравитационного поля является *напряженность* гравитационного поля. Напряженность гравитационного поля – *векторная величина* ( $\vec{g}_0$ ). Она направлена из произвольной точки поля в сторону источника этого поля (а). Модуль напряженности в произвольной точке гравитационного поля зависит от массы тела ( $M$ ), создающего это поле, и расстояния ( $r$ ) от центра тела до этой точки:



$$g_0 = G \frac{M}{r^2}.$$

Гравитационное взаимодействие между телами определяется законом всемирного тяготения, открытого Ньютоном:

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

Гравитационное взаимодействие всегда носит характер притяжения. На тело, помещенное в гравитационное поле, действует сила тяжести, которая придает телу ускорение свободного падения ( $\vec{g}$ ):

$$\vec{F} = m\vec{g}.$$

Сила всемирного тяготения регулирует движение разных систем во Вселенной, в том числе движение планет и спутников в Солнечной системе (b).

- Какая разница между физической сущностью напряженности гравитационного поля и ускорением свободного падения?
- Чему равны напряженность гравитационного поля и ускорение свободного падения на поверхности Земли?
- Какая разница между массой тела и весом?
- Что такое свободное падение и в каком случае тело может находиться в состоянии свободного падения?

Источником *электрического поля* является электрический заряд. Силовой характеристикой электрического поля является напряженность электрического поля. Напряженность электрического поля – векторная величина ( $\vec{E}$ ). Направление напряженности электрического поля в его произвольной точке совпадает с направлением действия силы на положительный пробный заряд (c).



Модуль напряженности электрического поля точечного заряда, созданного в данной точке, прямо пропорционален величине этого заряда ( $q_0$ ) и обратно пропорционален квадрату расстояния ( $r$ ) между данной точкой и центром поля:

$$E = k \frac{|q_0|}{r^2}.$$

Электрическое взаимодействие между зарядами определяется по закону Кулона:

$$F = k \frac{|q_0| |q|}{r^2}.$$

Электрическое взаимодействие между зарядами в зависимости от знака этих зарядов может носить как характер притяжения, так и отталкивания.

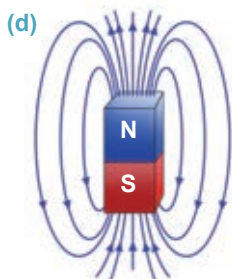
На помещенный в электрическое поле пробный заряд  $q$  действует электрическая сила:

$$\vec{F} = |q|\vec{E}.$$

- Как зависит напряженность электрического поля от пробного заряда, помещенного в данное поле?

- Что такое электростатическая индукция?
- Существует ли гравитационное взаимодействие между имеющими электрический заряд частицами? Ответ обоснуйте.

**Что общего и чем различаются между собой электрические и гравитационные поля?**



Магнитное поле создают движущиеся электрические заряды. Силовой характеристикой магнитного поля является индукция магнитного поля. Магнитная индукция ( $\vec{B}$ ) – векторная величина. Линии индукции магнитного поля замкнуты, силовые линии поля исходят с внешней стороны северного полюса, а входят в южный полюс и внутри его замыкаются. Магнитное поле с замкнутыми силовыми линиями является вихревым полем (d). Направление линий индукции можно определить по правилу правого винта (буравчика) или по правилу правой руки.

Модуль индукции магнитного поля равен отношению модуля максимальной силы ( $F_m$ ), действующей со стороны магнитного поля на проводник с током, к произведению силы тока ( $I$ ) на длину проводника в поле ( $\ell$ ):

$$B = \frac{F_m}{I \cdot \ell}.$$

Взаимодействие между параллельными проводниками с током определяется силой магнитного взаимодействия:

$$F_m \sim \frac{I_1 \cdot I_2 \cdot l}{r}.$$

Магнитное взаимодействие может носить характер как притяжения, так и отталкивания.

При помещении проводника с током в однородное магнитное поле действующая на него сила Ампера равна произведению силы тока, модуля магнитной индукции, активной длины проводника (часть длины находящихся в поле) и синуса угла между направлением тока и направлением вектора магнитной индукции:

$$F_A = IBlsin\alpha.$$

1. Что является источником магнитного поля: существуют ли магнитные заряды?
2. Что такое электромагнит?
3. В чем заключается явление электромагнитной индукции? Чем отличается индукционный ток от обычного электрического тока?
4. С какой силой действует на заряженную частицу магнитное поле, входящее в это поле? От чего зависит модуль этой силы?

## Дебаты

- Прочитав текст, разделитесь на две группы. Проведите обсуждение по темам, дополните данные в учебнике доказательства.

## 1. Под каким воздействием гравитационного поля Земли мы находимся?

|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>• За</p>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Гравитационное поле Земли не позволяет ее спутнику Луне удаляться от себя. Луна отражает падающий на нее солнечный свет и освещает темную сторону поверхности Земли.</li> <li>– Возникающее между Луной и Землей гравитационное взаимодействие вызывает на побережье морей и океанов многих стран (Канада, Англия, Франция, США, Россия и другие) приливы. На данных территориях активно используют приливные электростанции. Они дают возможность получения экологически чистой энергии.</li> <li>– В районах с высокой плотностью залегаемых пород значение ускорения свободного падения бывает больше. Это дает возможность геологам открывать залежи полезных ископаемых. Значит, мы находимся под полезным воздействием гравитационного поля Земли.</li> </ul>                                        |
|  <p>• Против</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Луна и Земля притягивают друг друга. Эта сила притяжения является причиной приливов и отливов в Мировом океане. Во время прилива уровень воды в океане поднимается и затопляет прибрежные территории. При этом случаются человеческие жертвы и наносится большой материальный ущерб.</li> <li>– Земной шар вращается вокруг Солнца без подвеса и без опоры. Значит, она всегда находится в состоянии свободного падения. Мы тоже проживаем на поверхности Земли, поэтому вместе с ней испытываем состояние свободного падения. Постоянное пребывание в состоянии свободного падения оказывает отрицательное воздействие на внутренние органы и кровообращение человека, увеличивает сердечное и кровяное давление.</li> <li>– Мы находимся под вредным воздействием гравитационного поля Земли.</li> </ul> |

**ЛАУІН**

## 2. Под каким воздействием электрического поля Земли мы находимся?

|                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>• За</p>       | <ul style="list-style-type: none"><li>– Силовые линии электрического поля начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном заряде. Земной шар заряжен отрицательно. Верхние же слои атмосферы имеют положительный электрический заряд. По этой причине силовые линии электрического поля Земли направлены вертикально вниз.</li><li>– Возникающее электрическое поле между облаками и объектами на поверхности Земли (здания, деревья, водоемы и другие) является причиной образования молнии. При возможности управлять молнией можно было бы, эффективно использовать ее энергию. Искусственную молнию можно получить в классе электрофорной машиной.</li><li>– Электрическое поле играет важную роль в нашей жизни. Например, все органы чувств человека ощущают, можно сказать, электрическое поле: глаз видит свет. А свет является результатом периодически изменяющихся электрических и магнитных полей в пространстве. Чувство осязания – это процесс трения тел о нашу руку и их деформации. И это происходит посредством электромагнитного поля. Слух – это воздействие изменения давления воздуха на слуховые мембраны. Изменение давления является причиной удара молекул воздуха об слуховые мембраны. А взаимодействие молекул имеет электрическую природу. Запах и осязание – химический процесс. А любой химический процесс – это превращение и взаимодействие молекул. В каждом из этих двух процессов участвуют электрические силы.</li></ul> |
|  <p>• Против</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>– Электрическое поле Земли может оказывать отрицательное воздействие на живые организмы, в том числе на человека. Тело человека, одевшего обувь на резиновой подошве, под действием электрического поля Земли заряжается, и он, накопив электрический заряд, превращается в живой конденсатор. Непрерывные электризация и разряжение человеческого организма оказывают отрицательное воздействие на нормальное функционирование некоторых внутренних органов, например, сердца, кровеносной системы и др.</li><li>– Сверхкнутая молния вызывает у каждого из нас чувство тревоги. Это опасное явление. Молнии поджигают дома, разрушают электрические столбы и заводские трубы.</li><li>– Мы подвержены вредному воздействию электрического поля Земли.</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

### 3. Под каким воздействием магнитного поля Земли мы находимся?

|                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>• За</p>      | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Направленное воздействие магнитного поля, оказываемое на катушку с током, используется в электроизмерительных приборах магнитоэлектрической системы, в электродвигателях. Воздействие магнитного поля на движущуюся заряженную частицу используется в циклотронах (для ускорения заряженных частиц) и в масс-спектрографах (для определения массы заряженной частицы).</li> <li>– Магнитное поле Земли защищает людей от космической радиации – смертельной опасности воздействия солнечной радиации на людей, указывает путь путешественникам, ориентирует рыб и птиц. Магнитная томография оказывает большую помощь врачам в постановке точного диагноза больным.</li> <li>– Мы находимся под полезным воздействием магнитного поля Земли.</li> </ul>                                                                      |
|  <p>• Против</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Магнитное поле оказывает негативное воздействие на нервную систему, ослабляет ее активность.</li> <li>– В результате кратковременных изменений магнитного поля Земли возникают магнитные бури. Магнитные бури связаны с деятельностью (активностью) Солнца. Это оказывает негативное воздействие на здоровье человека.</li> <li>– Люди, живущие на верхних этажах высотных зданий, более подвержены неблагоприятному воздействию магнитного поля Земли. Поэтому люди, живущие в частных домах, имеют меньше проблем со здоровьем, чем люди, живущие в высотных зданиях. С другой стороны, жизнь при постоянном мощном воздействии магнитного поля Земли оказывает негативное действие на нормальное функционирование человеческого мозга.</li> <li>– Мы находимся под вредным воздействием магнитного поля Земли.</li> </ul> |

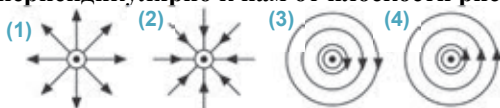
1. Магнитную стрелку, способную вращаться вокруг перпендикулярной к плоскости рисунка оси, приблизили к постоянному магниту.



При этом стрелка...

- A) не изменит свое положение
- B) повернется на  $180^\circ$
- C) повернется на  $90^\circ$  по направлению вращения часовой стрелки
- D) будет непрерывно вращаться вокруг своей оси
- E) повернется на  $90^\circ$  против направления вращения часовой стрелки

2. На какой схеме правильно показаны линии магнитной индукции постоянного тока, направленного перпендикулярно к нам от плоскости рисунка?



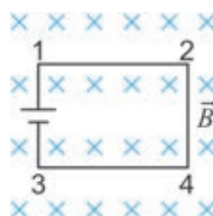
- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) постоянный ток магнитное поле не создает

3. На рисунке представлена схема линий магнитной индукции прямого проводника с током. В какой точке магнитное поле слабее?



- A) 1
- B) 2
- C) 3
- D) 4
- E) во всех точках одинаково

4. Источник тока и электрическая цепь, состоящая из четырех горизонтальных прямолинейных проводников, находятся в однородном магнитном поле. Силовые линии магнитного поля перпендикулярны плоскости рисунка. Определите направление силы Ампера, действующей на проводник 4-3.



- A)  $\rightarrow$
- B)  $\leftarrow$
- C)  $\uparrow$
- D)  $\downarrow$
- E) Сила Ампера не действует

5. Постоянный магнит в течение первых 3 секунд вводится в замкнутый контур, в течение следующих 3 секунд находится в контуре неподвижно, а в течение последующих 3 секунд выводится из контура. В какой промежуток времени в контуре возникает индукционный ток?

- A) Только 0–3 сек
- B) Только 3–6 сек
- C) 0–3 сек и 6–9 сек
- D) Только 6–9 сек
- E) 0–9 сек

# СВЕТОВЫЕ ЯВЛЕНИЯ

3

## 3.1 Источники света

Явления, наблюдаемые в ясный солнечный день

- На каких явлениях основываются ваши наблюдения?
- Почему предметы днем можно видеть, а в темноте их увидеть невозможно?



### Исследование

1

#### Какие предметы излучают свет?

Составьте список находящихся в классе предметов и определите: какие из них излучают свет, а какие нет?

#### Обсудите результат:

- Какие источники света вы знаете?
- Встречались ли вам предметы, излучающие свет в темноте? Приведите примеры.

Раздел физики, изучающий световые явления, называется *оптикой* (от греческого слова *optos* – “видимый”). Свет в нашей жизни играет очень важную роль. Так, при помощи света мы получаем около 90% информации об окружающим мире.

**Что такое свет?** По представлению древних греков, свет – это особое вещество, выходящее из глаз. Глаз направляет это вещество на произвольный предмет и он, соприкасаясь с телом, создает ощущение видения. Почему тогда человек ничего не видит ночью? Длительное время не могли найти ответ на этот вопрос. Только в XVII веке И.Ньютон предложил следующую гипотезу: свет – это поток частиц (корпускул), исходящих от светящихся предметов. По корпускулярным представлениям, исходящие от предметов частицы, попадая в глаз, вызывают ощущение видения.

Почти одновременно голландский ученый Х.Гюйгенс предложил волновую теорию света. Согласно этой теории, *свет – это волны, возникающие из источника света и распространяющиеся в особой среде, называемой эфир* (это будет изучаться более подробно в старших классах).

**Источники света.** Предметы, испускающие свет, называются *источниками света*. Существуют разные виды источников света:

- **Тепловые источники света.** Поверхность Солнца и звезд, пламя свечи, газа и костра, нить лампы накаливания, лава, выходящая из кратера вулкана, и др. являются тепловыми источниками света.



- Температура газа, выходящего из кратера извергающегося вулкана, 1100–1200°C, температура в газовом пламени 1600–1850°C, температура нити лампы накаливания 2500–2700°C, а температура на поверхности звезд 3000–30 000°C.

- **Холодные источники света.** Светящиеся рыбы, насекомые, различные растения являются холодными источниками света.

#### Холодные источники света



#### Фотолюминесценция



#### Лазер



Существуют и такие предметы, которые превращаются в источники света при освещении светом их поверхности. Эти тела называются *фотолюминофорами* (от латинского слова *lumen* – “свет”), а их свечение – *фотолюминесценцией*. Фотолюминофоры широко используются в рекламных огнях. Люминофорное вещество на дорожных знаках и специальной одежде при падении на них света от автомобильных фар создает для водителя прекрасную видимость, обеспечивает безопасность движения.

Одним из современных источников света является *лазер*. Лазер – незаменимый источник света в телевидении и медицине, машиностроении и приборостроении, военной технике, метрологии и астрофизике.

- **Точечные источники света.** Источники света могут быть разных размеров. Например, длина нити накаливания в лампе карманного фонаря меньше одного сантиметра, а радиус солнечного диска  $\approx 6,960 \cdot 10^8$  м. Однако видимый размер источника света зависит не только от его линейных размеров, но и от расстояния между наблюдателем и этим источником. Например, линейные размеры некоторых звезд во много раз больше размеров Солнца, однако эти небесные тела мы видим в форме точек, так как они расположены очень далеко от Земли.

Для нас лампа, подвешенная на высоком электрическом столбе, Солнце и звезды являются точечными источниками света. Нить накаливания маленькой лампочки при изучении световых явлений относительно пластины 2 можно

принять за точечный источник света, но ее нельзя считать точечным источником света относительно пластины **1** (относительно расстояний от нити до пластин, см.: **a**).



• Источник света, размерами которого при данных условиях можно пренебречь, называется **точечным источником света**. Свет от точечного источника распространяется во всех направлениях.

### ТВОРЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

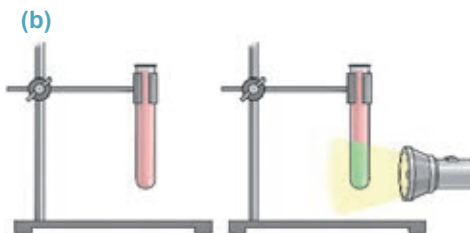
#### Исследование 2

##### Какой это источник света?

**Оборудование:** пробирка, карманный фонарь, фотолюминофорное вещество, вода (100 мл), штатив.

##### Ход исследования:

1. Налив в пробирку воды выше середины, добавьте в неё немного фотолюминофорного вещества, зажмите отверстие пробирки пальцем и взболтайте ее. Затем закрепите пробирку в штативе **(b)**.
2. Включив фонарь, осветите смесь и наблюдайте за возникшим явлением.



##### Обсудите результат:

- Какого цвета смесь получилась при добавлении фотолюминофорного вещества в воду?
- Каким цветом светится смесь при освещении ее белым светом?
- Какие источники света использовались в исследовании?

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Объясните смысл ключевых слов на рабочем листке.

Ключевые слова: • Источник света • Точечный источник света • Лазер • Фотолюминофор • Оптика •

#### Проверьте свои знания

1. Классифицируйте источники света.
2. Покажите примеры тепловых источников света.
3. При каких условиях источник света можно принять за точечный? Приведите примеры.
4. Почему по ночам белые полосы, нарисованные на шоссе, и дорожные знаки с края от дороги светятся под воздействием лучей, падающих от автомобильных фар?
5. Можно ли считать Луну источником света?



Ранним утром можно ясно наблюдать лучи солнечного света, проходящие сквозь деревья в лесу. Свет распространяется пучками во все направления так, будто за деревьями поместили точечный источник света.



- В каком направлении и в какой форме распространяется свет от данного источника?
- Почему мы не видим источник света, расположенный за непрозрачным препятствием?

### Исследование 1

**Какова причина того, что видна только одна булавка?**

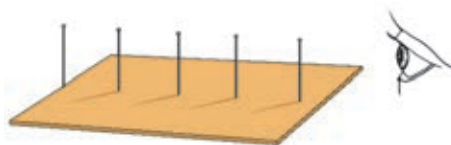
**Оборудование:** кусок картона, булавки (5-6 штук), линейка, карандаш.

**Ход исследования:**

1. Поместите картон на поверхность стола и воткните в него две булавки на расстоянии нескольких сантиметров друг от друга.
2. Остальные булавки воткните между этими двумя булавками так, чтобы при взгляде на одну из двух крайних булавок можно было видеть только ее.
3. Вытащите булавки и, поместив линейку на оставленные следы двух крайних булавок, проведите карандашом прямую линию.

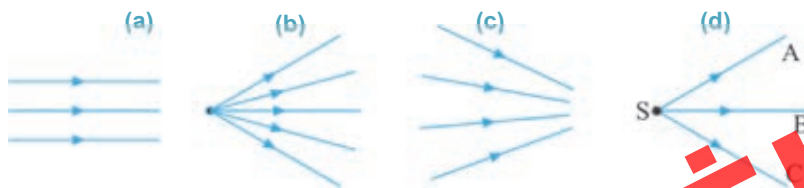
**Обсудите результат:**

- Как располагаются следы, оставленные другими булавками, относительно этой прямой линии? Почему?



**Луч света.** Луч света дает возможность показать распространение пучка света в разных направлениях при помощи направленной прямой линии (оси).

• **Луч света** – это линия, показывающая направление, вдоль которой распространяется световая энергия. Лучи бывают параллельные (а), дивергентные (расходящиеся) (b) и конвергентные (сходящиеся) (c).



Распространяющийся пучок света от точечного источника S можно показать лучами SA и SC или центральным лучом SB (d). Если при изучении световых явлений необходимо показать направление пучка света, то удобнее представить его в виде центрального луча. Если же форма распространения

света сложная, то в этом случае пучок света представляется двумя ограничивающими его лучами. При изучении многих световых явлений используются параллельные лучи света. Свет, испускаемый источниками, расположенными на очень большом удалении, например, Солнцем и звездами, можно принять за параллельные лучи света.

**Как распространяется луч света?** Наблюдая за лучами Солнца, проходящими сквозь деревья, лучами света, выходящими из отверстий на алюминиевой фольге, легко можно определить, что *луч света распространяется вдоль прямой линии*. Распространение луча света вдоль прямой линии известно людям с древних времен. Так, это свойство света использовалось в Древней Месопотамии (5000 лет до нашей эры) при строительстве башен и в Древнем Египте (3000 лет до нашей эры) при строительстве пирамид.

**В какой среде свет распространяется прямолинейно? Сохраняет ли свет свойство прямолинейного распространения при прохождении его через несколько сред?**

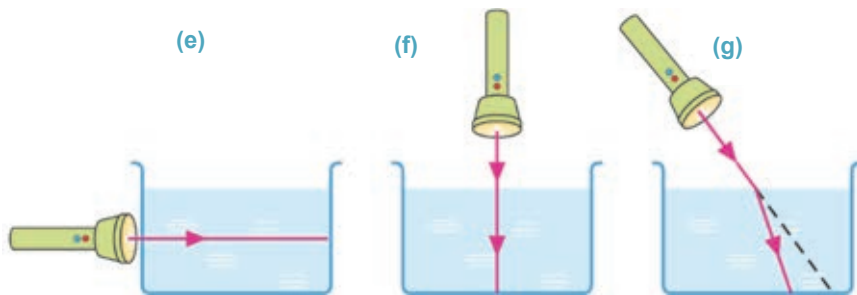
## Исследование 2

**Во всех ли средах свет распространяется прямолинейно?**

**Оборудование:** лазерный фонарь, стеклянный аквариум с водой, молоко (50 мл).

**Ход исследования:**

1. Добавив молоко в аквариум, получите несколько замутненную воду. Включив лазерный фонарь, приблизьте его к стенке аквариума и проследите за траекторией распространения лазерного луча в воде (e).
2. Поместите лазерный фонарь над аквариумом так, чтобы луч света проходил в вертикальном направлении через две среды – воздух и воду (f). Проследите за траекторией распространения света в этих средах.
3. Направьте луч лазера из воздуха в воду под углом к поверхности воды и проследите за траекторией его распространения (g).



**Обсудите результат:**

- В какой среде наблюдается свойство луча света распространяться прямолинейно?

Как стало известно в результате исследования, луч света распространяется в воде вдоль прямой линии. Можно сказать, что вода в данном сосуде по всему объему имеет одинаковые физические свойства, поэтому ее можно считать *однородной средой*. Значит, свет в однородной среде распространяется прямолинейно.

В результате многочисленных опытов был определен закон *прямолинейного распространения света*:

• **Свет в вакууме и однородной среде распространяется прямолинейно.**

**Выполняется ли закон прямолинейного распространения света в неоднородной среде?** Закон прямолинейного распространения света в неоднородной среде (когда среда состоит из нескольких однородных сред) выполняется в том случае, когда луч свет падает на поверхность неоднородной среды в перпендикулярном направлении (см.: **f**), во всех остальных случаях направление луча света меняется (см: **g**).

#### ТВОРЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

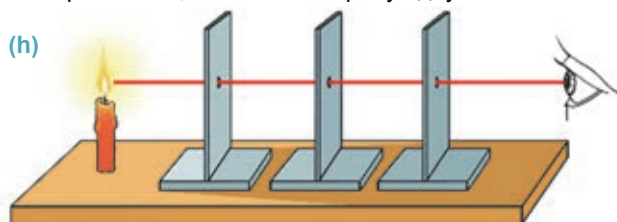
#### Исследование

3

**Проверим прямолинейность распространения луча света в воздухе.**

**Оборудование:** свеча, картонные пластины на подставке (3 штуки), металлический стержень (диаметр  $\approx 4$  мм).

**Ход исследования:** 1. Сделайте на пластинах одинаковые по месту и размеру отверстия (диаметром  $\approx 5$  мм). 2. Зажгите свечу и поместите ее за последовательно расположенными пластинами. 3. Отрегулируйте пластины так, чтобы можно было видеть луч света, проходящий через отверстия (**h**). 4. Не меняя положения пластин, проверьте, проходит через все три отверстия металлический стержень или нет. 5. Повторите опыт, сместив в сторону одну из пластин.



**Обсудите результат:**

- Что означает прохождение металлического стержня через все три отверстия, сквозь которые был виден луч света?
- Почему при смещении в сторону одной из пластин свет пламени стал не видим?
- К какому выводу вы пришли в результате исследования по распространению света в воздухе?

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Напишите короткое эссе на рабочем листке, используя данные ключевые слова.

**Ключевые слова:** • Луч света • Однородная среда • Закон прямолинейного распространения света • Вакуум •

#### Проверьте свои знания

1. Чем отличается пучок света от луча света?
2. В чем суть закона прямолинейного распространения света?
3. Как можно расположить три подставки вдоль одной прямой линии, используя закон прямолинейного распространения света?

### 3.3 Явления, объясняющие закон прямолинейного распространения света

**Учитель задает классу такую задачу:** Вам дали только линейку длиной 1 м. Кто с помощью этой линейки сможет измерить высоту сосны во дворе школы, не забираясь на нее?

– Я, – ответил Агиль и сразу разъяснил простой способ измерения высоты дерева по длине ее тени...

... Учитель и одноклассники остались довольны его ответом. Выйдя на перемене во двор, ученики определили высоту сосны способом, предложенным Агилем.



- Как вы определили бы высоту сосны по длине ее тени?
- На каком свойстве света основывается возникновение тени у предметов? Какие предметы дают резкую тень, а какие слабое?

#### Исследование

1



**Определите высоту фонарного столба.**

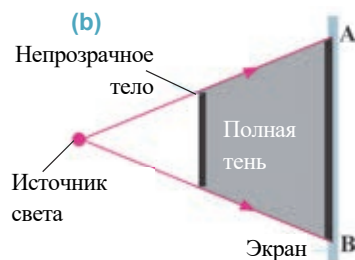
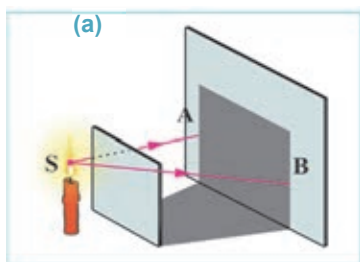
**Задача.** Длина тени фонарного столба равна 6,5 м, а длина тени девочки 2 м. Зная, что рост девочки равен 1,5 м, определите высоту фонарного столба.

**Обсудите результат:**

- Почему у предметов возникает тень?
- По какому свойству треугольников можно определить высоту фонарного столба?

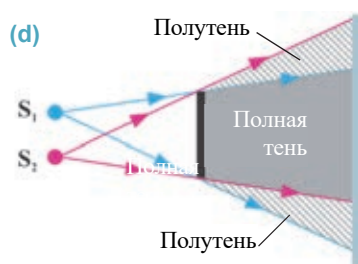
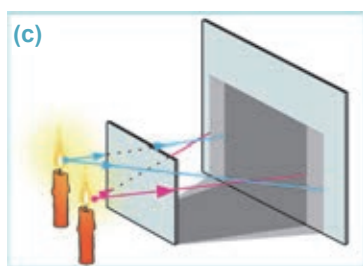
Закон прямолинейного распространения света позволил объяснить некоторые световые явления. Установлено, что все непрозрачные предметы, на которые падают лучи света, образуют тень. При освещении этих предметов точечным источником света на экране наблюдается *полная тень*. Это происходит потому, что при

освещении тела точечным источником света лучи не проходят сквозь тело, и за телом возникает темная область (**a** и **b**).

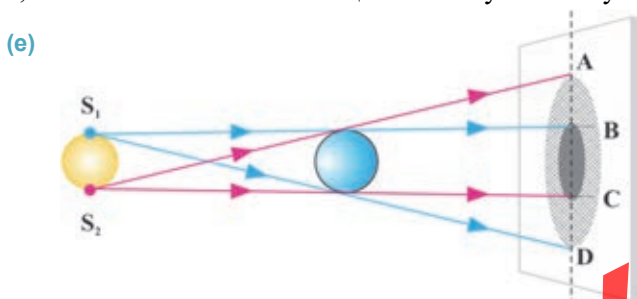


• **Полная тень** – такая часть пространства за предметом, куда свет от точечного источника не попадает.

При освещении предмета одновременно несколькими точечными источниками или одним не точечным источником (размер источника соизмерим с размером преграды) на экране наряду с полной тенью образуется и *полутень* с размытыми границами. Полутень возникает в такой части экрана, из которой источник света виден частично. На рисунке представлена схема полной тени и полутени, созданные двумя точечными источниками света (пламя свечи) (**c** и **d**).



Каждая точка источника света большого размера, имеющая определенные размеры  $S_1S_2$ , является точечным источником. При накладывании друг на друга теней, созданных падающими на тело лучами света от каждой такой точки, на части экрана возникает полная тень (**BC**), а на части экрана, где их тени не накладываются, возникают частично освещенные полутеневые участки (**AB** и **CD**) (**e**).



• **Полутень** – такая область пространства, расположенная за телом, которая освещается несколькими точечными источниками света или определенной частью источника света большого размера.

## Творческое применение

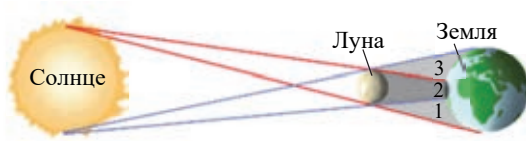
## Исследование

2

Объясните причину солнечного затмения.

**Ход исследования.**

На рисунке приведена схема (f) солнечного затмения (f). Внимательно изучите схему и выясните причину возникновения затмения.



**Обсудите результат:**

- Какое небесное тело создает на поверхности Земли полную тень и полутень при солнечном затмении?
- Какими цифрами обозначены участки полного и частичного солнечного затмения на поверхности Земли?
- Жители каких районов на поверхности Земли наблюдают полное затмение Солнца? Почему?
- Что наблюдают люди, живущие на участке поверхности Земли, где возникла полутень (частичное затмение Солнца)?
- А что означает лунное затмение? Нарисуйте схему этого затмения и объясните, почему Луна длительное время видна в виде полумесяца.

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?



• Напишите короткое эссе в рабочем листке, используя данные “ключевые слова”.

Ключевые слова: • Полутень • Солнечное затмение •  
Полная тень • Лунное затмение •

Проверьте свои знания

1. Можно ли получить на экране:
  - a) только полную тень;
  - b) только полутень;
  - c) и полную тень, и полутень непрозрачного предмета? Ответ обоснуйте.
2. Почему во время операции руки хирурга не отбрасывают тень на оперируемый участок?



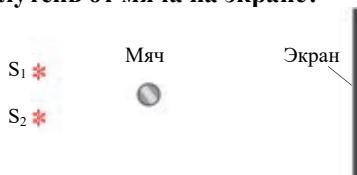
3. Сравните полное и частичное затмение Солнца, перечислите их общие и отличительные свойства.
4. Сравните лунные и солнечные затмения: какие у них общие и отличительные черты?

## Упражнение

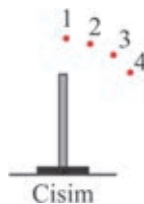
3.1

1. Свет излучается расплавленным металлом, монитором компьютера, лампой накаливания, светлячком, свечой, рекламной трубкой. Какие из них тепловые источники света, а какие холодные?

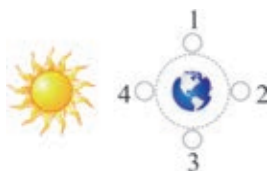
2. Два точечных источника света и один мяч помещены перед экраном, как показано на рисунке. Где на экране получится полная тень и полутень от мяча на экране?



3. Каково соотношение между длинами теней, полученных от освещения точечными источниками света 1, 2, 3 и 4 вертикально поставленного предмета?



4. В какой точке должна находиться Луна, чтобы образовалось полное солнечное затмение?



5. В ясный солнечный день сосна высотой 10 м отбрасывает на землю тень длиной 25 м, а длина тени здания равна 150 м. Какова высота здания?

6. Козырек над входной дверью здания освещается двумя уличными фонарями. Стоящий под козырьком мальчик...

- А) находится в полной тени козырька.
- В) находится в полутени, так как освещается только лампой В.
- С) находится в полутени, так как освещается только лампой А.
- Д) освещается обеими лампами.
- Е) находится в полутени обеих ламп.



## 3.4

## СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТА И МЕТОДЫ ЕЁ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Вы неоднократно наблюдали сверкание молнии и когда-то задумывались над таким вопросом...



- Почему при вспышке молнии сначала мы видим свет, а через несколько секунд слышим звук грома?
- Интересно, можно ли измерить скорость распространения света, идущего от молнии? Как это можно сделать?

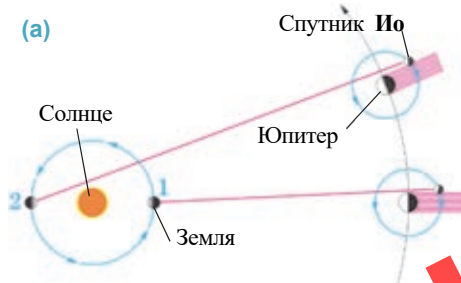
Так как свет проходит расстояния между объектами на поверхности Земли за доли секунды, то скорость его распространения долгие годы считалась бесконечно большой. По этой причине считалось, что свет распространяется мгновенно. Впервые скорость распространения света была измерена во второй половине XVII века. При этом было получено очень большое, но конечное число. Позже в результате неоднократно проведенных разными способами измерений выяснилось, что скорость распространения света в вакууме равна  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Ознакомимся с некоторыми из этих методов.

**Определение скорости распространения света астрономическим методом.** Скорость распространения света в 1676 году впервые измерил датский ученый Олаф Рёмер (1644–1710). Он это сделал в результате астрономических наблюдений за спутником Ио планеты Юпитер. Было выявлено, что спутник Ио планеты Юпитер совершает полный оборот вокруг планеты за 42 часа 28 минут. Выходя из тени Юпитера, спутник Ио, освещенный лучами Солнца, вспыхивал как лампа. Затем он проходит перед планетой и вновь погружается в ее тень. При этом происходит затмение спутника. Первое исследование было проведено, когда Земля находилась в точке 1 своей орбиты, а через пять месяцев спутник Ио вышел из тени Юпитера на 22 минуты позже. В этот момент Земля находилась в точке 2 своей орбиты (а). Значит, свету, чтобы дойти от спутника Ио до Земли в точке 2, нужно пройти дополнительное расстояние, равное диаметру орбиты Земли. Диаметр орбиты Земли по неточным расчетам, проведенным в XVII веке, составлял  $d_{\text{Земли}} \approx 2,84 \cdot 10^8 \text{ км}$ . Таким образом, на основании расчетов Рёмер получил для скорости света в вакууме очень большое конечное число:

$$c = \frac{d_{\text{Земля}}}{t} = \frac{2,84 \cdot 10^8 \text{ км}}{22 \text{ мин}} = \frac{2,84 \cdot 10^8 \text{ км}}{1320 \text{ с}} \approx 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 2,15 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

$$c \approx 215000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 2,15 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Здесь  $c$  – скорость распространения света в вакууме.



### Определение скорости распространения света лабораторным методом.

Скорость света лабораторным методом впервые была измерена в 1849 году французским физиком Арманом Луи Физо (1819–1896). Для определения скорости распространения света он использовал установку, состоящую из источника света, вращающегося зубчатого колеса, линзы и системы зеркал (b).

В опыте Физо скорость распространения света составила  $\approx 3,13 \cdot 10^8$  м/с.

В настоящее время скорость света в вакууме, измеренная с помощью электронного оборудования, вычислена с большой точностью:

$$c = 2,99792458 \cdot 10^8 \text{ м/с} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

• **Скорость распространения света в вакууме** – это самая большая скорость, возможная в природе. Эта скорость не зависит от выбора инерциальной системы отсчета.

Скорость распространения света в воздухе незначительно отличается от ее скорости в вакууме. Однако в других средах скорость распространения света отличается от ее скорости в вакууме, например:

$$v_{\text{воды}} \approx 2,25 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{стекла}} \approx 2,0 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{алмаза}} \approx 1,25 \cdot 10^8 \text{ м/с};$$

$$v_{\text{канадского бальзама}} \approx 1,95 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

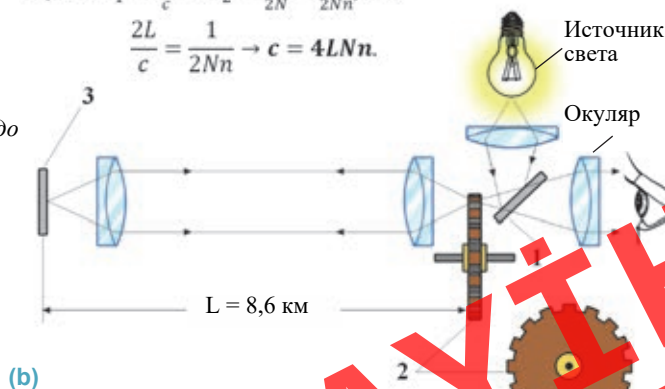
**Строение и принцип работы устройства Физо.** Луч света, исходящий из источника, отразившись от полупрозрачного зеркала 1, проходит между зубьями равномерно вращающегося колеса 2 с постоянной скоростью и падает на зеркало 3, расположенное на расстоянии  $L$  (b). Отразившись от зеркала луч вновь возвращается на зубчатое колесо. Колесо изготовлено так, что ширина каждого зубца равняется расстоянию между двумя зубцами. За то время, пока луч света проходит до зеркала 3 и возвращается обратно, колесо, повернувшись на один зубец, закрывает первоначально пройденный просвет между зубцами. В результате возвращающийся свет не может пройти через колесо и в окуляре наблюдателя создается темнота (не видно света). Это значит, что промежуток времени  $t_1$ , затраченный на прохождение светом расстояния  $L$  к зеркалу и обратно, равен промежутку времени  $t_2$ , затраченному на поворот зубчатого колеса до полуширины между зубцами:

$$t_1 = t_2.$$

Если принять во внимание, что  $t_1 = \frac{2L}{c}$  и  $t_2 = \frac{T}{2N} = \frac{1}{2Nn}$ , то

$$\frac{2L}{c} = \frac{1}{2Nn} \rightarrow c = 4LNn.$$

Здесь  $L$  – расстояние от зубчатого колеса до зеркала 3,  $T$  – период вращения зубчатого колеса,  $n$  – частота вращения зубчатого колеса,  $N$  – число зубцов на колесе.



## Творческое применение

## Исследование 2

**Вычислим скорость распространения света.**

**Задача.** В установке Физо расстояние между зубчатым колесом с числом зубьев  $N=720$  и зеркалом равно  $L = 8633$  м. При первом случае, когда луч света стал невидимым, частота вращения зубчатого колеса составляла  $n = 12,67 \frac{1}{c}$ . Вычислите скорость распространения света в воздухе.

**Обсудите результат:**

- Какой результат для скорости распространения света в воздухе дали расчеты?
- Как будет меняться скорость распространения света, если зеркало будет удаляться от зубчатого колеса со скоростью  $u$  или приближаться с той же скоростью? Ответ обоснуйте.

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



- Напишите короткое эссе на рабочем листке, используя данные ключевые слова.

Ключевые слова: •скорость света•опыт Рёмера•опыт Физо•

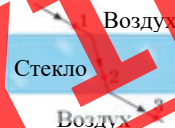
## Проверьте свои знания

1. Почему долгое время измерить скорость распространения света было невозможно?
2. Объясните первое исследование, выполненное для определения скорости света.
3. Каково максимальное значение скорости распространения света?
4. *Мысленный эксперимент:* наблюдатель посылает световой сигнал с лазерной установки, установленной на крыше “Пламенных башен” в Баку, на зеркало, установленное на вершине горы Бабадаг. Расстояние между наблюдателем и зеркалом равно 234 км. Через какой промежуток времени наблюдатель увидит отраженный от зеркала луч света  
( $c = 3 \cdot 10^5 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ )?

## Упражнение

## 3.2

1. Расстояние между Солнцем и Плутоном  $\approx 5,9 \cdot 10^9$  км. За какое время свет от Солнца дойдет до Плутона?
2. Свет от самой близкой  $\alpha$ -звезды созвездия Центавра доходит до Земли за 4,3 года. Каково расстояние до  $\alpha$ -звезды?
3. На рисунке представлена схема измерения скорости света методом Рёмера. В какой точке находится Земля, когда затмение спутника Ио происходит с опозданием?
4. Почему астрономы, изучающие звезды, говорят: “Мы изучаем прошлое звезд”?
5. Солнечные лучи проходят расстояние до Земли за 8 минут. Могли ли мы увидеть восход Солнца на 8 минут раньше, если бы свет распространялся мгновенно?
6. Сравните скорости распространения света в точках 1, 2 и 3.  
 A)  $v_3 > v_1 > v_2$  B)  $v_3 > v_2 > v_1$  C)  $v_1 = v_3 > v_2$   
 D)  $v_1 = v_3 < v_2$  E)  $v_1 = v_3 = v_2$



### 3.5 ЗАКОН ОТРАЖЕНИЯ СВЕТА

Всем известно, что в ясный солнечный день при помощи зеркала можно запустить на стены, пол или потолок “солнечный зайчик”.



- ?
- Что является причиной возникновения “солнечного зайчика”?

При созерцании произведения художника нас очаровывают изображение и цвета красок.



- ?
- Всегда ли изображенное на художественном полотне кажется нам ясно видимым?
  - Рассматривая полотно под разными углами, мы воспринимаем цвета красок то яркими и сверкающими, то тусклыми и мутными. Почему?

С. Бахлулзаде. “Дыни”

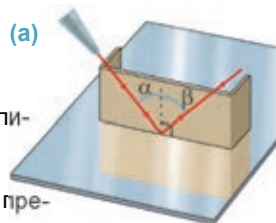
#### Исследование 1

##### Как отражается свет от зеркала?

**Оборудование:** прямоугольный кусок картона, маркер, линейка, лазерный фонарь, плоское зеркало.

**Ход исследования:**

1. В средней части картона проведите перпендикулярную прерывистую линию к одной из его сторон.
2. Согнув края картона под прямым углом, как показано на рисунке, поместите его на поверхность зеркала так, чтобы прерывистая линия была направлена перпендикулярно к поверхности зеркала (а).
3. Направьте луч лазера в точку касания перпендикуляра с зеркалом вдоль поверхности картона. Обратите внимание, как луч отражается от зеркала.
4. Проследите, как изменяется угол между отраженным от зеркала лучом и перпендикуляром (угол отражения) с изменением угла между падающим на поверхность зеркала лучом и перпендикуляром (угол падения).



**Обсудите результат:**

- Можно ли сказать, что падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр, проведенный от точки падения луча к поверхности, лежат в одной плоскости?
- Какая связь наблюдается между падающим углом  $\alpha$  и отраженным углом  $\beta$ ?
- К какому обобщающему выводу приводит наблюдение явления отражения света от плоского зеркала?

**Почему мы видим тело?** Мы видим тело благодаря отражению падающего на него света. Разные тела отражают свет тоже по-разному. Падающие на поверхность плоского зеркала параллельные лучи света отражаются также параллельно. Если глаз находится в точке 1, отраженные от зеркала лучи попадают в глаз, и мы видим в зеркале изображение источника света. Если же глаз находится в точках 2 и 3, изображение источника света в зеркале не видно, потому что отраженные лучи в глаз не попадают (b).

Такое отражение называется *зеркальным отражением*. Отражение лучей света от неподвижной поверхности воды также является зеркальным отражением (с).

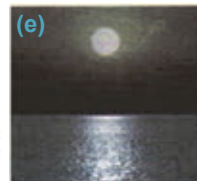
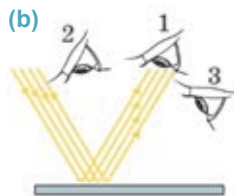
При падении параллельных лучей света на шероховатую поверхность тела отраженные от нее лучи рассеиваются в разных направлениях. Такое отражение лучей от поверхности тела называется *диффузным отражением* или *рассеиванием лучей* (d). Наблюдаемая на поверхности моря “лунная дорожка” является диффузным рассеиванием света (e).

**Какому закону подчиняется отражение света?** По итогам проведенного исследования по определению закона отражения света вы выявили:

- *Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр, проведенный к точке падения луча, лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения:  $\beta = \alpha$*  (f).

*Падающий луч* – это луч, падающий в определенную точку поверхности зеркала от источника света, а *отраженный луч* – это луч, отраженный от этой точки.

Угол между падающим лучом и перпендикуляром называется *углом падения* (угол  $\alpha$ ), а угол между отраженным лучом и этим же перпендикуляром называется *углом отражения* (угол  $\beta$ ).



## Творческое применение

### Исследование 2

**Оборудование:** оптический диск, плоское зеркало.

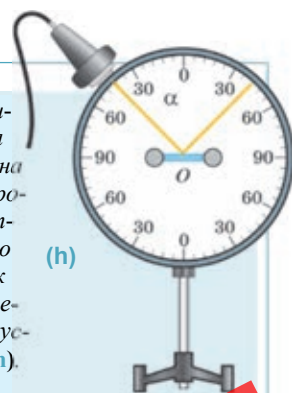
**Ход исследования:**

1. Закрепите плоское зеркало в центре оптического диска и направьте исходящий из источника света луч в центр зеркала так, чтобы угол падения был равен  $30^\circ$ . Определите угол отражения луча.
2. Двигая источник света вдоль оптического диска определите углы отражения, соответствующие  $45^\circ$ ,  $50^\circ$ ,  $60^\circ$  и другим значениям угла падения света.

**Обсудите результат:**

- К каким выводам привели проведенные опыты?

**Описание прибора.** Оптический диск – это круглая пластина с нанесенными на нее делениями. Деления градуированы по соответствующим углам. На краю диска закреплен источник света, который можно перемещать. Источник испускает узкий пучок света (h).

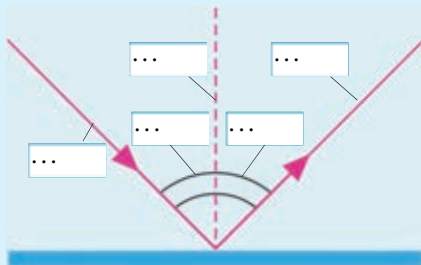


ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



- Запишите в рабочем листке определение “Закона отражения света” и вместо точек на схеме отметьте приведенные ниже ключевые слова.

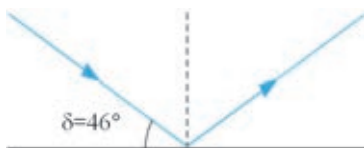
Ключевые слова: • Падающий луч • Отраженный луч • Угол падения • Угол отражения • Перпендикуляр, проведенный к точке падения •



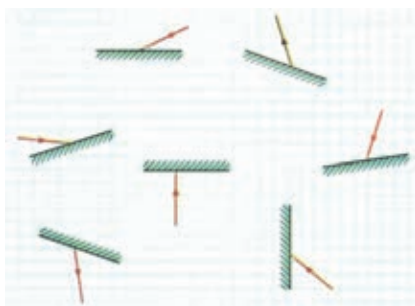
### Проверьте свои знания

- Чем отличается зеркальное отражение света от диффузного отражения?
- Солнечный луч, падающий на поверхность зеркала, образует с ней угол  $\delta=46^\circ$  (k). Определите угол отражения луча от зеркала.

(k)



- Угол между падающим лучом и отраженным лучом равен  $80^\circ$ . Определите угол падения.
- Перечертите данные рисунки на рабочий листок и на каждом рисунке постройте, соответственно, падающие или отраженные лучи.



LAYIH

### 3.6 ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ПЛОСКОМ ЗЕРКАЛЕ

Вероятно, каждый день перед выходом из дома вы рассматриваете в зеркале свое отражение, приводите в порядок одежду и волосы.



- Какие различия наблюдаются между вами и вашим отражением (изображением) в зеркале?
- Где и на каком расстоянии от зеркала получается ваше изображение?
- Каково соотношение между вашими размерами и размерами вашего изображения в зеркале?

#### Исследование 1

**Где получается изображение тела?**

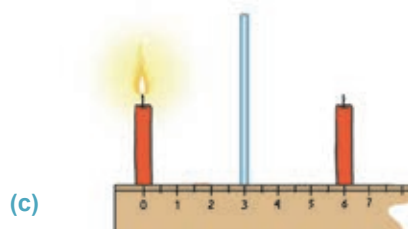
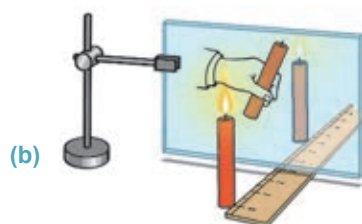
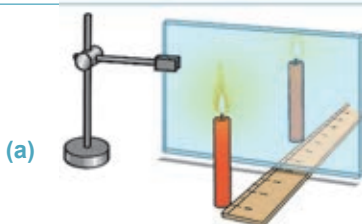
**Оборудование:** свеча (2 шт.), вертикально закрепленная в штативе стеклянная пластина, зажигалка, линейка, карандаш, бумага (формат А3).

**Ход исследования:** 1. Поместите зажженную свечу на бумаге перед стеклянной пластиной. В стекле, как и в зеркале, наблюдается изображение свечи (а).

2. Незажженную свечу перемещайте с другой стороны пластинки вдоль линейки до тех пор, пока она не совместится с изображением (б). 3. Зарисуйте схему опыта в рабочем листке и, измерив расстояния от стекла до незажженной и зажженной свеч, запишите их на схеме (с).

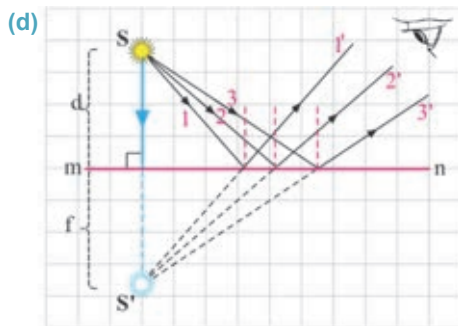
**Обсудите результат:**

- В каком положении за стеклянной пластиной незажженная свеча будет видна как зажженная?
- Какое соотношение установили между расстояниями от стеклянной пластины до незажженной и зажженной свеч?
- К какому выводу можно прийти по итогам исследования по получению изображения тела в стеклянной пластине?



**Как получается изображение в плоском зеркале?**

• Зеркало с плоской поверхностью называется **плоским зеркалом**. Расстояние от предмета до зеркала обозначается буквой **d**, а расстояние от изображения до зеркала буквой **f** (**d**). Построение изображения предмета в зеркале основывается на законе отражения света. Так, при падении на поверхность плос-



кого зеркала *mn* дивергентных (расходящихся) лучей **1, 2 и 3** от точечного источника света *S* они отражаются от точек падения, соответственно, в направлении лучей **1', 2' и 3'**. Наблюдатель видит изображение источника *S*, если отраженный луч попадает в его глаз.

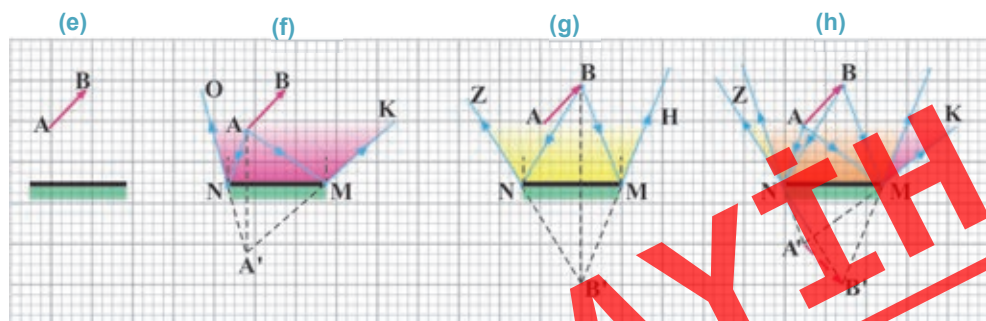
Отраженные лучи **1', 2' и 3'** от зеркала попадают в глаза наблюдателя, однако ему кажется, что эти лучи выходят не из настоящего источника, а из точки *S'*, находящейся за зеркалом.

Эта точка представляет собой точку пересечения продолжения отраженных лучей за зеркалом. Поэтому точка *S'*, из которой лучи света в действительности не выходят, называется *мнимым изображением* точки *S* (см.: **d**).

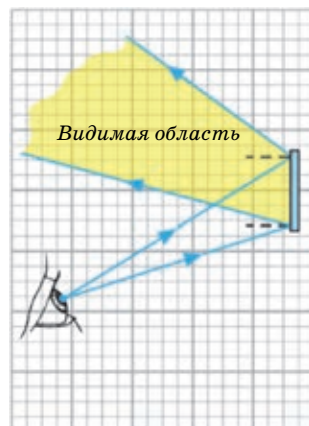
• **Мнимое изображение** – это изображение, получаемое пересечением продолжений отраженных лучей. В “Исследовании-1” вы определили свойства плоского зеркала, приведенные ниже:

- в плоском зеркале получается мнимое изображение предмета;
- мнимое изображение предмета в плоском зеркале прямое и имеет размеры самого предмета;
- предмет и его изображение расположены симметрично относительно плоского зеркала. Расстояние от предмета до зеркала равно расстоянию от изображения до зеркала ( $f = d$ ).

**Как определяется область видения изображения предмета в плоском зеркале?** Область пространства, в которой можно видеть изображение предмета в плоском зеркале, называется *областью видения*. Полное мнимое изображение предмета видно глазом из произвольной точки области видения. На рисунке представлена схема предмета **AB** и плоского зеркала (**e**). Для определения видимой области этого предмета сначала из точки **A** к крайним точкам зеркала **N** и **M** проводятся лучи **AN** и **AM**. Эти лучи дивергентно отражаются от крайних точек зеркала и создают видимую область **ONM** изображения точки **A**. При расположении глаза в произвольной точке этой области он будет видеть мнимое изображение **A'** точки **A** (**f**). Далее тем же способом строится видимая область точки **B** (**g**). Область **ZNMK**, созданная этими двумя точками, есть в целом видимая площадь мнимого изображения **A'B'** предмета **AB** (**h**).



Как можно определить область видения (i) глаза, смотрящего на плоское зеркало? С этой целью глаз принимается за точечный источник света, из этой точки проводятся два луча к крайним точкам зеркала. Площадь, охватываемая отраженными от этих точек лучами, создает видимую глазом область (на схеме показана желтым цветом) (i). Произвольная точка (или предмет), помещенная в этой области, будет видимой, а помещенная за пределами видимой области точка будет невидимой.



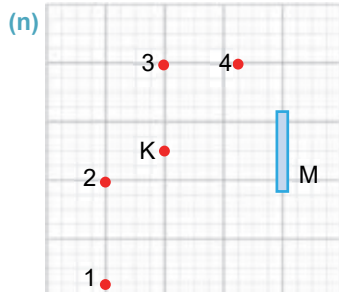
### Творческое применение

#### Исследование 2

##### Какая точка видна?

Какая из точек 1, 2, 3 и 4 будет видна в плоском зеркале М, если смотреть из точки К (n)?

Ответ обоснуйте схематически.



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

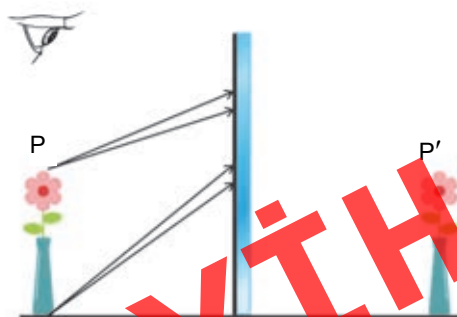


Постройте на рабочем листке изображение произвольной стрелки в плоском зеркале и отметьте данные ключевые слова на нем.

Ключевые слова: • мнимое изображение • плоское зеркало • видимая площадь изображения • видимая площадь глаза •

#### Проверьте свои знания

1. Почему в плоском зеркале получается мнимое изображение тела?
2. На рисунке представлена помещенная перед плоским зеркалом ваза и исходящие от её крайних точек лучи. Начертите продолжение лучей. Можно ли будет увидеть мнимое изображение вазы?
3. Сколько минимально лучей должно исходить от точечного источника света, чтобы получить его изображение в плоском зеркале? Почему?
4. Расстояние между предметом и плоским зеркалом равно 2 м. Каково расстояние между этим телом и его изображением?



## Проект

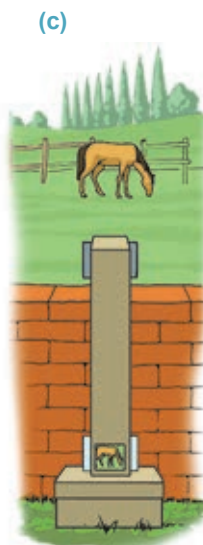
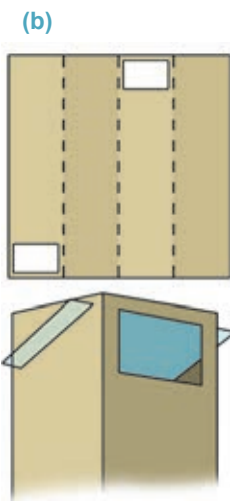
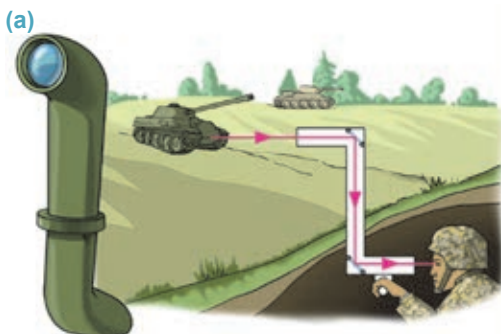
### Изготовим зеркальный перископ.

Плоское зеркало используется в устройстве перископа – приспособлении для наблюдения за предметами из укрытия (при наблюдениях из траншеи, из-под толщи воды) (а). Изготовим это приспособление.

**Оборудование:** плотный лист картона размерами 32×50 см, два плоских зеркала размерами 6×10 см, тетрадный лист в клетку, ножницы, карандаш, линейка, скотч.

### Ход исследования:

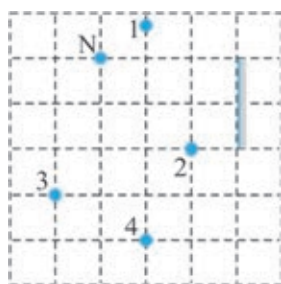
1. Начертите на поверхности картона с помощью линейки четыре параллельные прерывистые линии на расстоянии 8 см друг от друга. Затем сделайте в картоне, как показано на рисунке, два сквозных прямоугольных отверстия (b).
2. Вырежьте из листа в клетку прямоугольный равнобедренный треугольник (длина катета 6 см). Положите треугольник на поверхность картона, и в четырех местах проведите линии по диагонали. Затем сделайте в картоне узкие щели по этим диагоналям. Сложите картон по прерывистым линиям и полученную “шахту” склейте скотчем.
3. Поместите зеркала в соответствующие щели. Перископ готов. Расположите перископ за каким-либо препятствием (например, за садовым забором, подоконником и др.). Проведите наблюдение через окуляр (приблизив глаз к отверстию в нижней части), выставив объектив (верхнюю часть) перископа выше препятствия, и проверьте, работает ли он (c). Принесите изготовленный перископ в класс.



## Упражнение

## 3.3

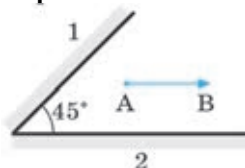
1. Каким должен быть угол падения, чтобы угол между отраженным лучом и падающим лучом составил  $50^\circ$ ?
2. Какие точки увидит в плоском зеркале глаз из точки N?



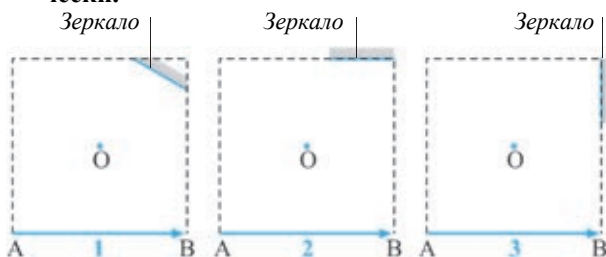
3. Выберите верные суждения о полученных в плоском зеркале изображениях предмета.

- 1 – действительное;
- 2 – мнимое;
- 3 – равным размеру предмета;
- 4 – прямое;
- 5 – обратное;
- 6 – изображение и предмет симметричны относительно зеркала.

4. Постройте изображение предмета АВ сначала в плоском зеркале 1, а затем от полученного изображения простройте изображение в плоском зеркале 2. Какой вид будет иметь предмет после отражения от зеркала 2? Нарисуйте схему полученного изображения.

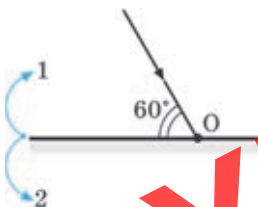


5. На каком из приведенных ниже рисунков глаз из точки O увидит в плоском зеркале предмет АВ полностью? Ответ обоснуйте схематически.



6. В каком направлении и на сколько градусов необходимо повернуть плоское зеркало вокруг точки O так, чтобы падающий луч отразился в том же направлении?

- А) в направлении 2 на  $30^\circ$
- В) в направлении 2 на  $60^\circ$
- С) в направлении 2 на  $45^\circ$
- Д) в направлении 1 на  $30^\circ$
- Е) в направлении 1 на  $60^\circ$



### 3.7 СФЕРИЧЕСКОЕ ЗЕРКАЛО

Свет фар автомобиля на встречной полосе ослепляет нас на расстоянии 70–100 м. Однако, если извлечь лампочку из этой фары лампы и включить вне фары, свет от нее различается на расстоянии 2–3 метров.

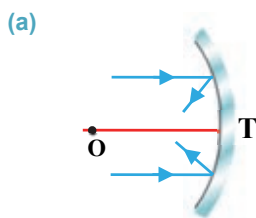


- Что усиливает и придает определенное направление световым лучам используемых по вечерам источников света, в том числе в автомобильных фарах, карманных фонарях, прожекторах и маяках?

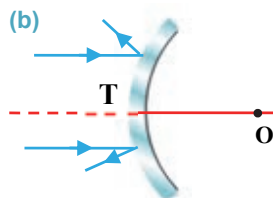
Наряду с плоскими зеркалами существуют и сферические зеркала. Зеркальная поверхность, имеющая вид сегмента сферы, называется **сферическим зеркалом**.

Сферические зеркала бывают двух видов: *вогнутые* и *выпуклые*.

**Вогнутое сферическое зеркало** – это зеркало, отражающее лучи света с внутренней поверхности сферического сегмента (а).



**Выпуклое сферическое зеркало** – это зеркало, рассеивающее лучи света с внешней поверхности сферического сегмента (б).



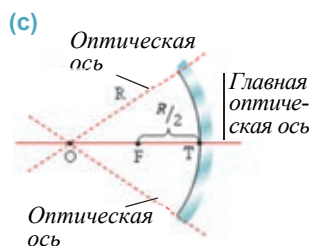
Сферическое зеркало характеризуется нижеприведенными элементами:

- Центр сферы, из которого вырезан сегмент, называется **оптическим центром** сферического зеркала. На рисунке оптический центр показан точкой **О** (с).

- Вершина сегмента (точка **Т**) называется **полюсом** сферического зеркала.

- Расстояние между оптическим центром и вершиной зеркала является радиусом кривизны сферического зеркала и обозначается буквой **R**.

- Произвольная прямая линия, проходящая через оптический центр, называется **оптической осью** сферического зеркала. У сферического зеркала оптических осей много, однако, только одну из оптических осей принято называть **главной оптической осью**.



- Прямая линия, проходящая через оптический центр сферического зеркала и его полюс, называется **главной оптической осью**.

- Точка пересечения отраженных лучей, падающих параллельно главной оптической оси сферического зеркала, называется **главным фокусом зеркала** и обозначается буквой **F** (д). Главный фокус у вогнутого зеркала действительный, потому что в этой точке пересекаются сами отраженные от зеркала лучи.

При падении лучей света параллельно главной оптической оси на поверхность выпуклого зеркала отраженные лучи рассеиваются. Продолжения отраженных лучей пересекаются в определенной точке, расположенной за зеркалом.

Эта точка называется *главным фокусом выпуклого зеркала* (е). Главный фокус выпуклого зеркала мнимый, потому что в этой точке пересекаются не сами отраженные от зеркала лучи, а их продолжения.

- *Плоскость, проходящая через точку главного фокуса перпендикулярно главной оптической оси, называется **фокальной плоскостью** зеркала.* Точка пересечения всех оптических осей с фокальной плоскостью является фокусом зеркала относительно этой оси.

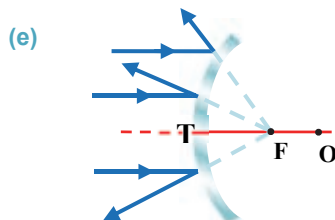
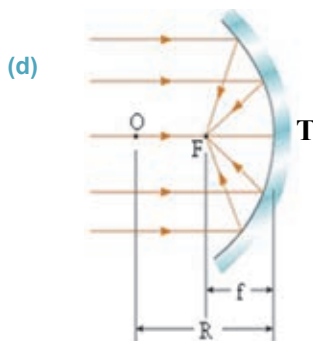
- *Расстояние от главного фокуса до вершины зеркала (расстояние **FT**) называется **фокусным расстоянием** зеркала и обозначается как **F**. Это расстояние равно половине радиуса кривизны сферического зеркала:*

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

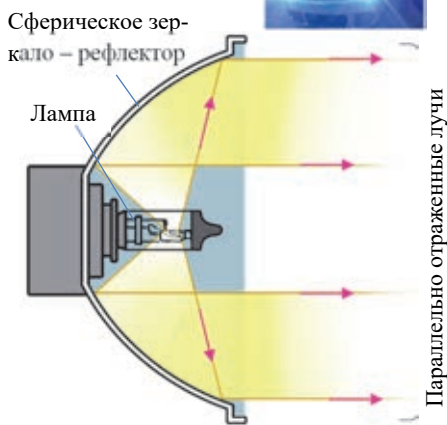
**Практическое использование сферических зеркал.** На практике наиболее часто используются вогнутые сферические зеркала. Эти зеркала используются в основном для получения параллельных лучей или с целью сфокусировать параллельные лучи. Для получения параллельных лучей лампу помещают в фокус вогнутого зеркала. Свет, исходящий от нити накаливания лампы, называемой *рефлектором* (слово “рефлектор” означает “отражающий”), отражается от вогнутого зеркала параллельно его главной оптической оси. Это свойство зеркала используется в автомобильных фарах, карманных фонарях, маяках и проекторах (f).

Иногда возникает необходимость сфокусировать (собрать) падающие параллельные лучи. Как вы знаете, параллельно падающие на зеркало лучи собираются в его фокусе. Это свойство вогнутого зеркала используется в *телескопе-рефлекторе*.

*Телескоп* – это прибор, используемый для наблюдения за далеко расположенными небесными телами (звездами, планетами, астероидами и др.).



(f) **Схема свечения автомобильной фары**

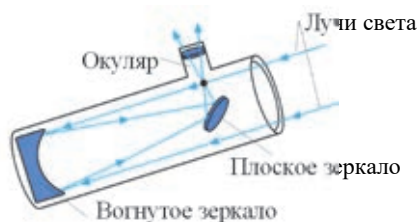


Параллельно отраженные лучи

На рисунке представлен телескоп Шамахинской астрофизической обсерватории с диаметром рефлектора в 2 м и схема прохождения лучей в нем (g).



(g)



## Творческое применение

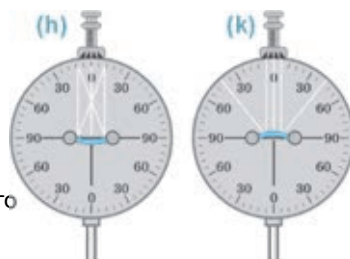
### Исследование 2

**Проследите за явлением отражения света в сферическом зеркале.**

**Оборудование:** оптический диск

**Ход исследования:**

1. Поместите вогнутое зеркало в центр оптического диска и направьте на него несколько параллельных лучей от источника света. Двигая источник света по краю диска, отрегулируйте его так, чтобы средний из отраженных лучей отразился в направлении противоположно падающему лучу ( $180^\circ$ ). Обратите внимание на точку пересечения крайних параллельных лучей (h).
2. Повторите опыт с выпуклым зеркалом: поместив зеркало в центре диска, направьте на него несколько параллельных лучей. Обратите внимание на направление распространения лучей, отраженных вдоль главной оптической оси зеркала (k).



**Обсудите результат:**

- В каком направлении отражается луч, падающий вдоль главной оптической оси вогнутого и выпуклого зеркал?
- Какая закономерность наблюдается в направлении дальнейшего распространения параллельно падающих на поверхность сферического зеркала лучей после их отражения?

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Используя данные ключевые слова, напишите на рабочем листке краткие объяснения.

**Ключевые слова:** • сферическое зеркало • вогнутое зеркало • выпуклое зеркало • главная оптическая ось • главный фокус зеркала • фокальная плоскость • радиус кривизны • фокусное расстояние • рефлектор • телескоп •

### Проверьте свои знания

1. Какая точка в вогнутом зеркале называется его фокусом?
2. Какая точка в выпуклом зеркале называется его фокусом?
3. Где используется вогнутое зеркало? Приведите примеры.
4. Сколько фокусных точек имеет сферическое зеркало?
5. Подготовьте краткое сообщение о телескопе-рефлекторе Шамахинской астрофизической обсерватории, используя интернет-ресурсы.

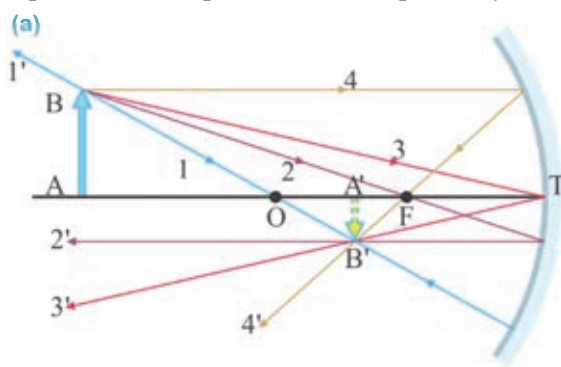
### 3.8 ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В СФЕРИЧЕСКОМ ЗЕРКАЛЕ



- Есть ли разница между изображениями, полученными в плоском и сферическом зеркалах?
- Мнимые или действительные изображения предмета получаются в вогнутом и выпуклом зеркалах? Как это можно определить?
- Как строится изображение предмета в сферическом зеркале?

Зная направление произвольного отраженного луча от сферического зеркала, можно построить изображение любого предмета. С этой целью строятся изображения крайних точек предмета. Выходящие из крайних точек лучи выбираются так, чтобы легко было провести их отраженные от зеркала лучи. С

этой точки зрения для построения изображения крайней точки тела **В** удобно выбрать приведенные ниже лучи (а): 1. Луч 1, проходящий через оптический центр зеркала. Этот луч, проходя через оптический центр, возвращается в том же направлении, в каком падает на поверхность зеркала (луч 1'). 2. Луч 2, проходящий через фокус. Этот луч



возвращается параллельно главной оптической оси (луч 2'). 3. Луч 3, падающий на точку полюса зеркала, отражается от этой точки симметрично (луч 3'). 4. Луч 4, параллельный главной оптической оси зеркала. Этот луч после отражения проходит через фокус зеркала (луч 4').

Таким образом, все эти отраженные лучи проходят через точку **В'**, являющуюся изображением точки **В** данного предмета. Поэтому для простоты построения схемы изображения достаточно использовать любые два луча из приведенных выше.

Отметим, что изображение крайней точки **А** данного предмета, находящегося на главной оптической оси, получается также на главной оптической оси (точка **А'**) (см.: а).

**Построение изображения в вогнутом зеркале.** Во всех случаях, когда отношение между расстоянием от предмета до зеркала и фокусным расстоянием составляет  $d \geq F$ , вогнутое зеркало дает действительное изображение тела, потому что изображение получается от пересечения отраженных лучей. А если расстояние от предмета до зеркала меньше фокусного расстояния ( $d < F$ ), вогнутое зеркало дает мнимое изображение, потому что изображение предмета получается не пересечением самих отраженных лучей, а их продолжениями за зеркалом.

В пяти случаях изображение предмета в вогнутом зеркале действительное, в одном случае получается мнимым.

1. При расположении предмета в бесконечности:  $d \rightarrow \infty$ . Лучи света, падающие из бесконечности, принимаются за параллельные и отраженные лучи собираются в фокусе зеркала:  $f = F$ .

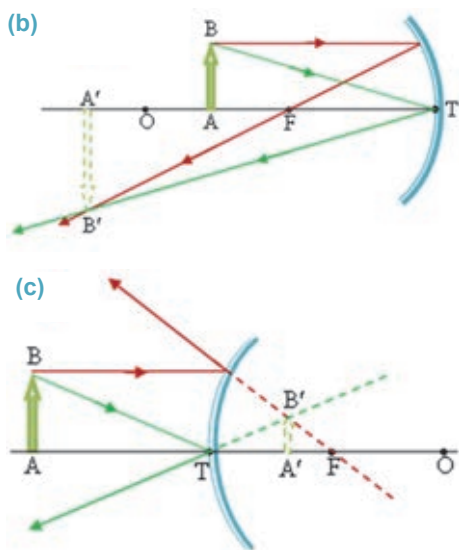
2. При расположении предмета далеко за центром кривизны зеркала:  $d > R$ . Действительное, перевернутое и уменьшенное изображение получается между центром кривизны зеркала и фокусом ( $R > f > F$ ) (см.: **a**).

3. При расположении предмета в центре кривизны зеркала:  $d = R$ . Действительное, перевернутое и равное по величине предмету изображение получается в центре кривизны зеркала ( $f = R$ ).

4. При расположении предмета между центром кривизны зеркала и фокусом:  $R > d > F$ . Изображение получается действительным, перевернутым, увеличенным и расположено за центром кривизны зеркала ( $f > R$ ) (**b**). Здесь использовались два луча, выходящие из точки **B**: первый луч, параллельный главной оптической оси, и второй луч, падающий на точку полюса зеркала.

5. При расположении предмета в фокусе:  $d = F$ . Изображение получается в бесконечности:  $f \rightarrow \infty$ .

6. При расположении тела между фокусом и точкой полюса зеркала:  $d < F$ . Изображение получается мнимым, прямым, увеличенным и расположено за зеркалом.



**Построение изображения в выпуклом зеркале.** Так как выпуклое зеркало имеет мнимые фокус и центр кривизны, во всех случаях независимо от расстояния между предметом и зеркалом изображение получается прямое и уменьшенное за зеркалом (мнимое) и расположено между вершиной зеркала и фокусом (**c**). Здесь для построения изображения предмета **AB** также использовались два луча.

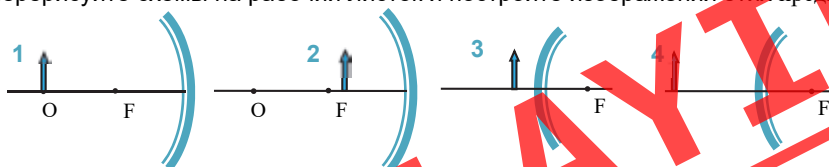
### Творческое применение



#### Исследование

**Постройте изображение тела в сферическом зеркале.**

На рисунке представлены схемы четырех предметов и сферических зеркал. Перерисуйте схемы на рабочий листок и постройте изображения этих предметов.





### Исследование

#### Обсудите результат:

- Изображение какого предмета получилось действительным, а какого – мнимым? Почему?
- Где получается изображение предмета в выпуклом зеркале?

### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?



- Перепишите данные на рабочий листок и завершите их для вогнутого зеркала: “Если  $d \rightarrow \infty$  ...”, “Если  $d > R$  ...”, “Если  $d = R$  ...”, “Если  $R > d > F$  ...”, “Если  $d = F$  ...”, “Если  $d < F$  ...”

### Проверьте свои знания

1. Чем отличается полученное в вогнутом зеркале действительное изображение от мнимого?
2. Почему во всех случаях в выпуклом зеркале, независимо от расстояния между телом и зеркалом, получается мнимое изображение?
3. Какие лучи удобно использовать для построения изображения в сферическом зеркале? Почему?

## 3.9

## ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА

При наклонном помещении карандаша в стакан с водой кажется, что на границе воздуха и воды он сломан.



- Почему тело на границе двух прозрачных сред видится преломленным?



### Исследование

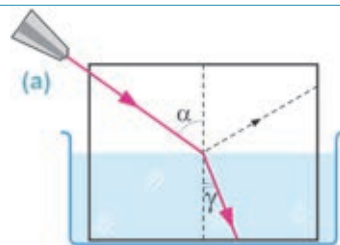
1

#### Что происходит при падении света на границу двух прозрачных сред?

**Оборудование:** плоская пластмассовая белая пластина, аквариум с водой, линейка, лазерный фонарь, молоко (50 гр), карандаш.

#### Ход исследования:

1. Налитв молоко в аквариум, добейтесь некоторого помутнения воды.
2. Проведите от середины пластины прерывистую линию, перпендикулярно двум её сторонам. Затем опустите пластину в аквариум так, чтобы прерывистая линия была перпендикулярна поверхности воды (а).
3. Направьте лазерный луч вдоль пластины в точку соприкосновения перпендикуляра с поверхностью воды. Обратите внимание на направление луча в воде.
4. Проследите, как изменяется угол между направлением распространения луча в воде и перпендикуляром (угол преломления) с изменением угла падения луча.





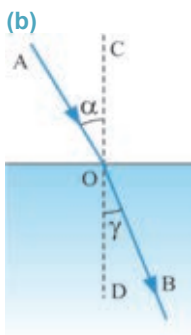
## Исследование

### Обсудите результат:

- Можно ли сказать, что падающий на границу воздух-вода луч, преломленный луч и перпендикуляр из точки падения луча к поверхности воды находятся на одной плоскости?
- Какое соотношение наблюдается между углами  $\alpha$  и  $\gamma$ , образованными падающим и преломленным лучами и перпендикуляром к поверхности воды?
- К какому общему выводу можно прийти из наблюдения явления преломления света на границе двух прозрачных сред?

**Почему луч света меняет направление при переходе через границы двух прозрачных сред?** При падении луча света на границу раздела двух прозрачных сред с разными плотностями (например, воздух-вода, воздух-стекло, стекло-вода и др.) часть его отражается от поверхности, а другая часть, пройдя через границу раздела этих сред, меняет направление распространения.

• *Изменение направления распространения луча света при переходе из одной среды в другую на границе этих сред называется преломлением света (b).*



Здесь **АО** – падающий луч, **ОВ** – преломленный луч, **CD** – перпендикуляр, проведенный к границе раздела двух сред из точки падения (точка **O**),  $\alpha$  – угол падения,  $\gamma$  (гамма) – угол преломления. Так как плотность воды больше плотности воздуха, то луч света, переходя из воздуха в воду, меняет свое направление и отклоняется к перпендикуляру **CD** (см.: **b**). Если же воду заменить средой большей плотности, например, стеклом, то преломленный луч сместится к перпендикуляру еще больше.

*При переходе луча света из прозрачной среды с меньшей плотностью в прозрачную среду с большей плотностью угол преломления будет меньше угла падения.*

Луч света, падающий перпендикулярно на границу раздела двух прозрачных сред с разными плотностями, проходит во вторую среду без преломления.

По итогам проведенного исследования вы установили два вывода: *первый – падающий на поверхность границы воздух-вода луч, преломленный луч и перпендикуляр, проведенный от точки падения луча к границе раздела двух сред, лежат в одной плоскости; второй – с увеличением угла падения увеличивается и угол преломления, с уменьшением угла падения уменьшается и угол преломления. Если измерять углы падения и преломления при помощи транспортира, станет ясно, что отношение синусов этих углов остается постоянным.*

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n.$$

Здесь постоянная величина **n** – *относительный показатель преломления*. Таким образом, закон преломления света выражается двумя положениями:

• *Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, проведенный из точки падения луча, лежат в одной плоскости.*

• *Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред.*

Отметим, что значение показателя преломления не зависит ни от угла падения, ни от угла преломления света, а зависит от свойств двух данных сред:

$$n = \frac{n_2}{n_1},$$

где,  $n_1$  и  $n_2$  абсолютные показатели преломления первой и второй сред соответственно.

• Показатель преломления данной среды относительно вакуума называется **абсолютным показателем преломления** данной среды. Абсолютный показатель преломления показывает, во сколько раз скорость света в данной среде меньше скорости света в вакууме:

$$n = \frac{c}{v}.$$

В таблице 3.1 приведены значения абсолютных показателей преломления для разных сред.

Таблица 3.1.

| Вещество           | n    | Вещество       | n       |
|--------------------|------|----------------|---------|
| Алмаз              | 2,42 | Скипидар       | 1,47    |
| Стекло             | 1,57 | Глицерин       | 1,47    |
| Каменная соль      | 1,54 | Этиловый спирт | 1,36    |
| Кварц              | 1,54 | Вода           | 1,33    |
| Растительное масло | 1,52 | Лед            | 1,31    |
| Плексиглас         | 1,50 | Воздух         | 1,00029 |

Таким образом, закон преломления света на границе раздела двух сред в общем виде можно записать и так:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Как видно из выражения, отношение показателей преломления сред равно обратному отношению скоростей распространения света в этих средах.

Это означает, что преломление света на границе двух прозрачных сред – результат распространения света с разной скоростью в разных средах. Среда с меньшей скоростью распространения света – это среда с большим показателем преломления, или **оптически более плотная среда**, а среда с большей скоростью распространения света – среда с меньшим показателем преломления, или **оптически менее плотная среда**.

## Исследование 2

### Проверка закона преломления света.

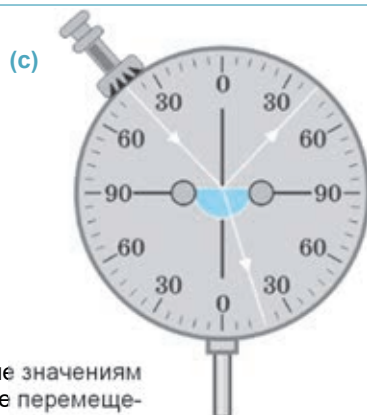
**Оборудование:** оптический диск, стеклянная пластина в форме полуцилиндра, транспортир, четырехзначная математическая таблица (В.А.Брадиса).

#### Ход исследования:

1. Закрепите стеклянную пластину в центре оптического диска и направьте луч света на ее поверхность под определенным углом, например,  $42^\circ$  (с).
2. Определите углы преломления, соответствующие значениям  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и другим углам падения, полученные перемещением источника света по краю оптического диска.
3. Вычислите отношение значений синуса углов падения и отражения, используя четырехзначную математическую таблицу.

#### Обсудите результат:

- Какую закономерность вы определили в ходе исследования о преломлении света?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

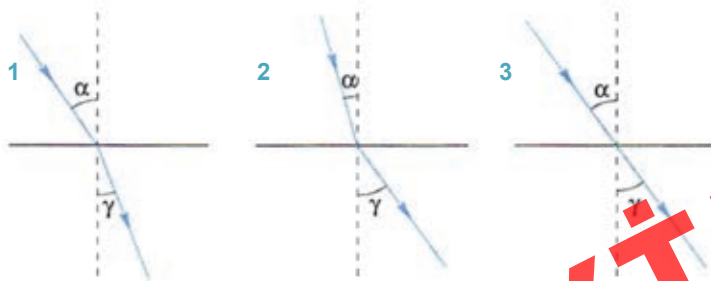


- Напишите на рабочем листке краткую информацию на основании данных ключевых слов.

**Ключевые слова:** • преломление света • закон преломления света • абсолютный показатель преломления • оптически более плотная среда • оптически менее плотная среда •

### Проверьте свои знания

1. Положите на дно чашки монету и посмотрите на нее с такого места, чтобы край чашки закрывал монету (монета не должна быть видна). Если же в чашку налить воды, то монета станет видна. Почему? Ответ обоснуйте, нарисовав схему.
2. Каков физический смысл абсолютного показателя преломления среды?
3. В каком случае угол преломления может быть больше угла падения?
4. Сравните оптическую плотность и показатели преломления представленных на рисунках сред.



LAYIH

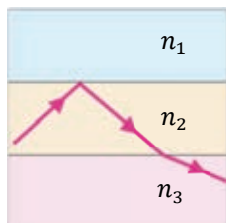
## Упражнение 3.4

1. Луч света переходит из воздуха в стекло. Определите угол преломления и скорость распространения света в стекле, если угол падения равен  $60^\circ$ .

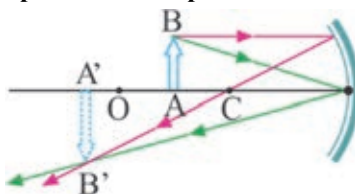
2. В каком направлении необходимо направить луч света в алмазе, воде и стекле, чтобы выходящие из них в воздух лучи были параллельными, как показано на рисунке?



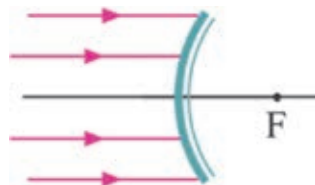
3. Луч света распространяется в средах с показателями преломления  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$  так, как показано на рисунке. Каково соотношение между показателями преломления?



4. На рисунке представлена схема построения изображения предмета в сферическом зеркале. Определите его фокусное расстояние, расстояние от предмета до зеркала и расстояние от изображения до зеркала.



5. Покажите схематически дальнейший путь лучей, падающих на поверхность выпуклого зеркала.



6. Луч света переходит из среды с показателем преломления  $n_1$  в среду с показателем преломления  $n_2$ . Каково соотношение между скоростями распространения света и показателями преломления в этих средах?

- A)  $n_1 v_1 = n_2 v_2$
- B)  $n_1 v_2 = n_2 v_1$
- C)  $n_1 n_2 = v_1 v_2$
- D)  $n_1 + n_2 = v_1 + v_2$
- E)  $n_1 - n_2 = v_1 - v_2$

## 3.10

## ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА ЧЕРЕЗ ПЛОСКОПАРАЛЛЕЛЬНУЮ СТЕКЛЯННУЮ ПЛАСТИНУ И ТРЕХГРАННУЮ СТЕКЛЯННУЮ ПРИЗМУ

Посмотрим на карандаш через толстую стеклянную пластину. Часть преломившегося под стеклом карандаша кажется несколько приподнятой вверх.



- Сколько преломлений испытывает луч света при прохождении через стеклянную пластину? Происходит ли при этом изменение направления распространения света?

### Исследование

1

#### Прохождение света через плоскопараллельную стеклянную пластину.

**Оборудование:** стеклянная пластина трапецеобразной формы, булавки (4 штуки), толстый лист бумаги, карандаш, транспортир, линейка.

**Ход исследования:**

1. Обведите карандашом на листе бумаги контур стеклянной пластины, а затем уберите ее.
2. Из точки, близкой к середине трапеции, проведите наклонно вектор **AO** на малое параллельное основание трапеции. Этот вектор будет схемой падающего луча (**a**).
3. Верните стеклянную пластину на место и воткните булавки **1** и **2** на вектор падающего луча на некотором расстоянии друг от друга (см.: **a**).
4. Расположите глаз на уровне поверхности стола так, чтобы наблюдая через большое параллельное основание пластины противоположную сторону, булавка **2** полностью закрывала булавку **1**.
5. Воткните булавки **3** и **4** со стороны большого основания стеклянной пластины так, чтобы булавка **4** "спрятала" за собой остальные три булавки – словно все булавки выстроились в один ряд.
6. Уберите с листа стеклянную пластину и булавки. Проведите луч **BC**, выходящий с поверхности большого основания стеклянной пластины и проходящий через отверстия от булавок **3** и **4**.
7. Соедините прямой линией **OB**, точку падения луча на поверхность стеклянной пластины и точку выхода. Эта линия показывает направление хода луча в стеклянной пластине. Все лучи изобразите в виде стрелок.
8. Завершите схему, проведя перпендикуляры к поверхности. При помощи транспортира измерьте углы падения ( $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ ) и углы преломления ( $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ ). Результаты измерений занесите в таблицу 3.2 и сравните значения этих лучей.



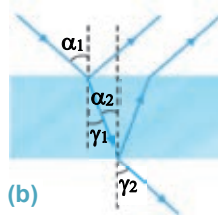
Таблица 3.2.

| Граница раздела | Угол падения ( $\alpha$ ) | Угол преломления ( $\gamma$ ) |
|-----------------|---------------------------|-------------------------------|
| Воздух-стекло   | $\alpha_1 =$              | $\gamma_1 =$                  |
| Стекло-воздух   | $\alpha_2 =$              | $\gamma_2 =$                  |

#### Обсудите результат:

- К какому выводу можно прийти из сравнения углов падения и преломления света на границе раздела сред воздух-стекло и стекло-воздух?
- Что можно сказать о входящем и выходящем лучах для плоскопараллельной стеклянной пластины?

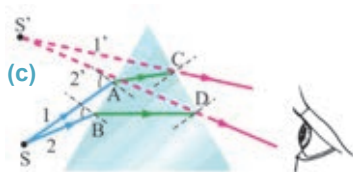
**Ход лучей света в плоскопараллельной стеклянной пластине.** Пластина, ограниченная плоскими параллельными поверхностями, называется плоскопараллельной пластиной. Световой луч, падающий на такую стеклянную пластину под определенным углом, на границе воздух-стекло и стекло-воздух и отражается, и преломляется (b). При этом при переходе луча из воздуха в стекло преломленный угол  $\gamma_1$  меньше падающего угла  $\alpha_1$ , а при переходе из стекла в воздух преломленный угол  $\gamma_2$  больше падающего угла  $\alpha_2$ .



Это объясняется тем, что в этих средах разные показатели преломления (также разные скорости распространения света): если луч света переходит из среды с меньшим показателем преломления в среду с большим показателем преломления, то угол преломления будет меньше угла падения. Наоборот, если луч света переходит из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления, то угол преломления будет больше угла падения. По результатам проведенного исследования для плоскопараллельной стеклянной пластины вы определили и другие ее свойства:

- луч света выходит из плоскопараллельной прозрачной пластины под таким же углом, под каким падает на ее поверхность;
- выходящий из стекла луч распространяется параллельно падающему, но смещен относительно него.

**Ход светового луча в трехгранной стеклянной призме.** В трехгранной стеклянной призме направление распространения света меняется. При рассмотрении какого-либо тела через такую призму кажется, что тело поменяло свое место. Исходящие от тела лучи света 1 и 2, падая на призму в точках А и В, преломляются и распространяются внутри призмы в направлении АС и ВD. Достигнув второй грани, лучи света преломляются во второй раз. В результате наблюдатель видит источник света в точке пересечения продолжения лучей 1' и 2', другими словами: тело будет наблюдаться смещенным к вершине угла между преломляющими гранями трехгранной стеклянной призмы. Направление лучей от тела, падающие на призму, меняют свое направление, отклоняясь к основанию призмы (c).



### Творческое применение

#### Исследование

2

#### Ход лучей света в стеклянной призме.

Начертите дальнейший ход луча света, падающего на поверхность стеклянной призмы (d).

#### Обсудите результат:

- В каком направлении распространяется выходящий из призмы луч? Почему?
- Запишите закон преломления луча в стеклянной призме.

(d)



## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• **Перепишите предложения в рабочий листок и закончите их.**  
 Основные свойства плоскопараллельной стеклянной пластины: ...  
 При падении луча света на стеклянную трехгранную призму ...

## Проверьте свои знания

1. Начертите дальнейший ход преломленных лучей в данных средах (приблизительно).
2. В каком случае угол преломления больше угла падения?
3. Может ли падающий на поверхность плоскопараллельной стеклянной пластины луч света пройти через нее не преломившись?



## Практическая работа 3.1

### Определение показателя преломления стекла.

**Оборудование:** линейка, треугольная линейка, стеклянная пластина в форме трапеции, кусок картона, белая бумага, булавки с головкой (4 шт.), карандаш.

#### Ход исследования:

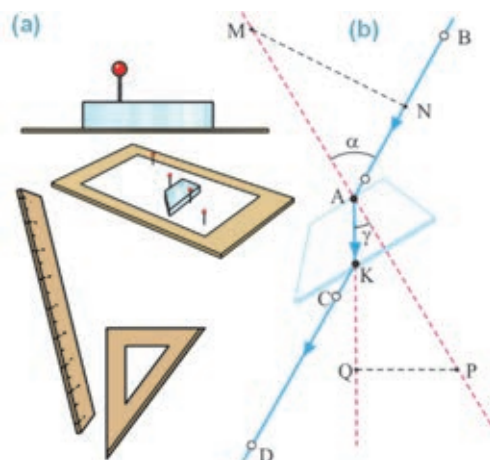
1. Поместите стеклянную пластину на белую бумагу, подложив под нее картон.
2. Воткните булавку в точку А так, чтобы она касалась одной из параллельных граней пластины. Расположите глаз на уровне стола таким образом, чтобы смотря на пластину с другой стороны, вы видели сквозь неё основание булавки (а).
3. Не меняя положения глаза, чуть поверните пластину так, чтобы видимая через пластину часть булавки совпала с торчащей головкой булавки.
4. Затем остальные булавки воткните в точки В, С и D так, чтобы булавка D “спрятала” за собой три другие булавки – словно все они выстроены вдоль одной линии (b).
5. Вытащив булавки, отметьте карандашом их следы. Затем удалите стеклянную пластину, предварительно обведя карандашом ее по контуру.
6. Проведите соответствующие линии через точки А и В, а затем и через С и D до пересечения их с поверхностью трапеции. Отметьте точки пересечения и проведите через них две равные линии AM и AP так, чтобы получились два прямоугольных треугольника: ΔAMN и ΔAPQ (см.: b).
7. Проведите соответствующие измерения и вычислите показатель преломления стекла, используя закон преломления света:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}; \sin \alpha = \frac{MN}{AM}; \sin \gamma = \frac{PQ}{AP}.$$

Отсюда получаем:  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{MN}{AM} \cdot \frac{AP}{PQ}$ , так как  $AM = AP$ , то  $n = \frac{MN}{PQ}$ .

Значит, для определения показателя преломления света в опыте достаточно измерить расстояния MN и PQ (см.: b).

8. Начертите схему опыта на рабочем листке и сравните значение полученного в ходе опыта показателя преломления света с его табличным значением.



### 3.11 Полное внутреннее отражение

При внимательном рассмотрении алмаза (бриллианта) в кольце можно увидеть, что он построен из отполированных многогранников.



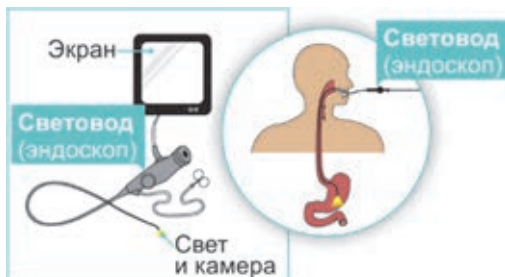
• Почему в ювелирных изделиях алмаз изготавливается в виде отполированного многогранника?



В современной медицине для исследования внутренних органов без хирургического вмешательства, например пищевода, используется тонкая эластичная трубка, называемая **световодом** (эндоскоп). При направлении луча света на один конец такой трубки свет выходит с другого ее конца и освещает исследуемое место.



• Какое световое явление возникает в световоде?



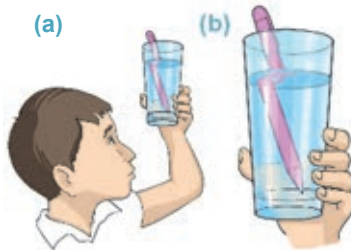
#### Исследование 1

**Почему тело выглядит не целым?**

**Оборудование:** тонкий стеклянный стакан, вода (200 мл), карандаш.

**Ход исследования:**

1. Налив в стакан до половины воды, поставьте его на стол. Опустите карандаш наклонно в воду и наблюдайте его преломление на границе раздела воздух-вода.
2. Подняв стакан до уровня ваших глаз, расположите его на расстоянии 25-30 см. Наблюдайте за преломлением на границе воздух-вода части карандаша в воде и части карандаша над водой (а).
3. Не изменяя высоты расположения стакана, постепенно удаляйте его от себя и обратите внимание, как будет выглядеть карандаш (б).

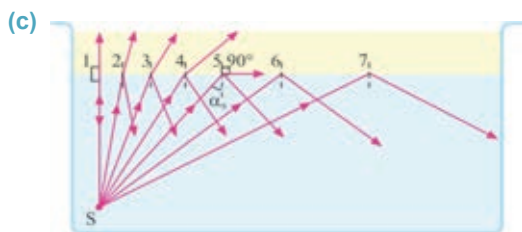


**Обсудите результат:**

- В каком случае опущенный в воду карандаш выглядел более преломленным: на границе воздух-вода или на границе вода-воздух? Почему?
- Какое изменение в преломлении карандаша наблюдалось при постепенном удалении стакана от себя?
- При продолжении удаления стакана от себя возникнет такая ситуация, когда вы увидите только погруженную внутрь воды часть карандаша. Почему? Какое световое явление возникает при этом?

Вы уже знаете, что при падении луча света из среды с большим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления (например, на границе вода-воздух) преломленный луч удаляется от перпендикуляра: угол преломления больше угла падения.

**Как меняется угол преломления, при увеличении угла падения светового луча?** В результате исследования вы установили, что с увеличением угла падения увеличивается угол преломления светового луча: при удалении от себя



стакана, расположенного выше уровня глаза, карандаш будет выглядеть более преломленным (с, случаи 2–4). При определенном значении угла падения световой луч не переходит во вторую среду (воздух), угол преломления составит  $90^\circ$  (луч распространяется вдоль границы вода-воз-

дух) (см.: с, случай 5). При дальнейшем увеличении угла падения падающий луч не преломляется, а полностью отражается от внутренней поверхности воды (см.: с, случаи 6–7) – возникает явление *полного внутреннего отражения света*. Угол падения  $\alpha_0$ , соответствующий углу преломления  $90^\circ$ , называется *предельным углом* полного внутреннего отражения. Закон преломления для случая, когда преломленный луч составляет  $90^\circ$ , записывается так:

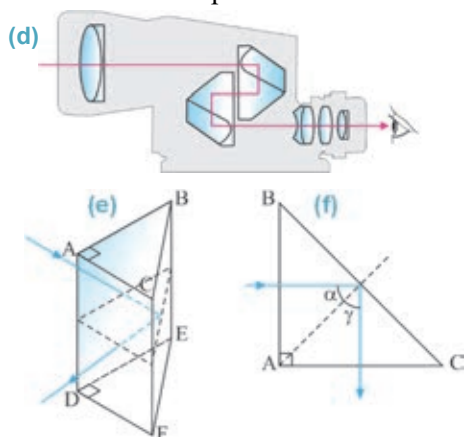
$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}.$$

Так как  $\sin 90^\circ = 1$ , то имеем:

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

Для каждой пары сред (например, стекло-воздух, алмаз-стекло и др.) имеется определенный предельный угол полного внутреннего отражения. Опытным путем установлено, что предельный угол луча света на границе стекло-воздух  $\alpha \approx 42^\circ$ . Значит, если угол падения луча света на границу стекло-воздух будет больше  $\approx 42^\circ$ , то в стекле возникает явление полного внутреннего отражения.

Явление полного внутреннего отражения света широко используется в разных оптических приборах, световодах и ювелирном деле. Например, свет, падающий на поверхность стеклянной призмы, являющейся одной из основных частей бинокля, в результате полного внутреннего отражения, можно сказать, полностью отражается и меняет свое направление (d).



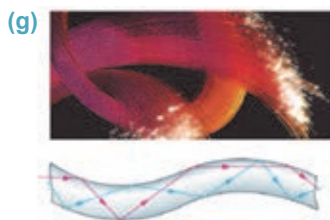
**Как происходит полное внутреннее отражение в призме?** Стекла́нная призма помещается в оптическом приборе так, что луч света падает на ее поверхность перпендикулярно (e). Основание призмы – равнобедренный прямоугольный треугольник:

( $AB=AC$ ;  $\angle BAC = 90^\circ$ ).

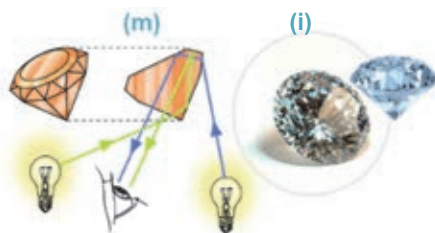
Луч света, не преломляясь, проходит в призму (потому что угол падения равен  $90^\circ$ ) и падает на ее границу с воздухом (граница стекло-воздух) под углом  $\alpha=45^\circ$ . Этот угол для сред стекло-воздух больше предельного угла полного внутреннего отражения стекла,

поэтому луч света не проходит в воздух, он полностью отражается и выходит через грань АСDF под углом  $\gamma = 45^\circ$  (см.: **e** и **f**).

Для передачи света на разные расстояния, в труднодоступные места используется оптический прибор, называемый *световодом*. Световод представляет собой прозрачное волокно или эластичную трубку очень маленького диаметра, покрытую снаружи оболочкой с малой оптической плотностью. В таких волокнах свет испытывает многократное полное внутреннее отражение (**g**).



Веками ювелиры используют явление полного внутреннего отражения света для повышения стоимости природных драгоценных камней и их привлекательности. Обычно люди рассматривают драгоценные камни под ярким светом. При этом, независимо от того, с какой стороны находится источник света, некоторые внутренние поверхности граней камня отражают падающие лучи как зеркала, создавая в камне эффект сверкания. При повороте камня роль “внутренних зеркал” играют его другие грани (**h**).



По этой причине ограненный алмаз, называемый *бриллиантом*, ярко сверкает, независимо от направления падения светового луча (**i**).

## Творческое применение

### Исследование 2

**Проверим полное внутреннее отражение света.**

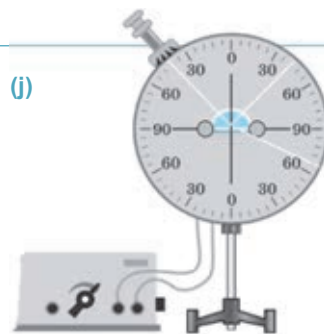
**Оборудование:** оптический диск, стеклянная пластина в форме полуцилиндра, транспортир, четырехзначная математическая таблица (Брадиса).

**Ход исследования:** 1. Закрепите стеклянную пластину в центре оптического диска. Направьте луч света вдоль радиуса полуцилиндра и пронаблюдайте за его преломлением на границе стекло-воздух (**j**).

2. Переместите источник света по краю оптического диска так, чтобы обеспечить падение луча на границу стекло-воздух под углом, равным предельному углу, при этом преломленный луч распространяется вдоль границы раздела двух сред. Измерьте транспортиром предельный угол. 3. Сместив источник света еще по краю оптического диска, обеспечьте, чтобы угол падения света на поверхность полуцилиндра был больше предельного угла. Зарисуйте схему опыта на рабочий листок.

**Обсудите результат:**

- Чему равен предельный угол полного внутреннего отражения светового луча для стекла?
- При каком угле падения светового луча на поверхность стекло-воздух возникает явление полного внутреннего отражения?



Что вы узнали?



• Напишите на рабочем листке объяснения к данным ключевым словам.

Ключевые слова: "Предельный угол..."; "Полное внутреннее отражение..."; "Световод ..."

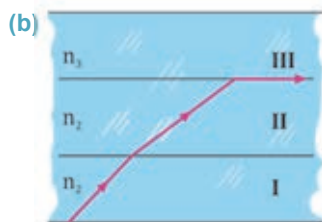
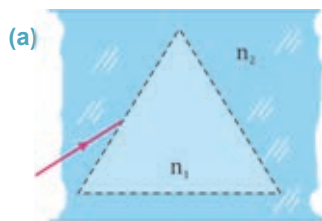
### Проверьте свои знания

1. Что такое предельный угол полного внутреннего отражения? От чего зависит значение этого угла?
2. Может ли возникнуть полное внутреннее отражение при переходе луча света из воздуха в алмаз? Почему?
3. Приведите примеры применения явления полного внутреннего отражения.

### Упражнение

3.5

1. Начертите продолжение луча света в стеклянной призме (а). Показатель преломления призмы меньше показателя преломления окружающей среды ( $n_1 < n_2$ ).
2. Скорость распространения света в алмазе  $1,22 \cdot 10^8$  м/с. Определите предельный угол полного внутреннего отражения при выходе света из алмаза в воздух.
3. На рисунке показан путь светового луча в трех плоскопараллельных средах с показателями преломления  $n_1$ ,  $n_2$  и  $n_3$ . Определите соотношение между показателями преломления (b).
4. Предельный угол полного внутреннего отражения для кристалла равен  $34^\circ$ . Определите его показатель преломления.
5. Луч света падает на поверхность плоскопараллельной пластины в воздухе. Начертите продолжение луча (c).
6. Показатель преломления воды, стекла и алмаза относительно воздуха соответственно равны  $n_1 = 1,33$ ,  $n_2 = 1,5$  и  $n_3 = 2,42$ . Для какого вещества предельный угол полного внутреннего отражения наименьший?  
А) для воды  
Б) для алмаза  
С) для стекла  
Д) одинаков для всех веществ  
Е) одинаковы для стекла и воды, но меньше чем для алмаза



### 3.12 Линзы

Иногда в солнечные дни оставленные туристами обычные стеклянные бутылки или их осколки становятся причиной возникновения больших лесных пожаров.



• Как стеклянная бутылка может поджечь лес?



Иногда трудно разглядеть отдельные части предмета, даже приблизив его к глазу, например, пыльцу у цветка. В таких случаях с помощью микроскопа (1) мы можем как приблизить частичку к глазу, так и увеличить ее. Иногда же тела находятся от нас так далеко, что для их рассмотрения невозможно приблизить к глазу, например, небесные тела. В таких случаях мы можем “приблизить” небесное тело и увеличить его с помощью телескопа (2).



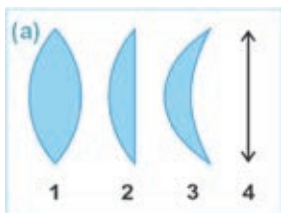
• Что “приближает” и “увеличивает” тела в этих оптических приборах (микроскоп, телескоп и другие)?  
• Какие еще оптические приборы увеличители вы знаете?



Одна из основных частей оптических приборов – линза. Линза от латинского *lens* означает – “чечевица”.

• Прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями (иногда одна из поверхностей может быть плоской), называется **линзой**. Линзы по форме делятся на две группы: **выпуклые** и **вогнутые**.

• Линзы, которые в середине толще, чем у краев, называются **выпуклыми линзами**. Такие линзы могут быть **двояковыпуклыми**, **плосковыпуклыми** или **вогнуто-выпуклыми** (а). Лучи света, падающие на стеклянную выпуклую линзу в воздухе, преломляются в ней и собираются в одной точке, поэтому такая линза называется **собирающей линзой**. В качестве примера таких линз можно привести **увеличительное стекло** (лупу) (b).



1. Двояковыпуклая линза.
2. Плоско-выпуклая линза.
3. Вогнуто-выпуклая линза.
4. Условное обозначение тонкой выпуклой линзы

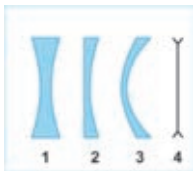
(b)



• Линзы, которые в середине тоньше, чем у краев, называются **вогнутыми линзами**.

Такие линзы могут быть **двояковогнутыми**, **плосковогнутыми** или **вогнуто-выпуклыми** (с). Лучи света, падающие на стеклянную вогнутую линзу в воздухе, преломляются в ней и рассеиваются, поэтому такая линза называется **рассеивающей линзой**. Такие линзы показывают тела уменьшенными (d).

(с)



1. Двояковогнутая линза.
2. Плоско-вогнутая линза.
3. Выпукло-вогнутая линза.
4. Условное обозначение тонкой вогнутой линзы.

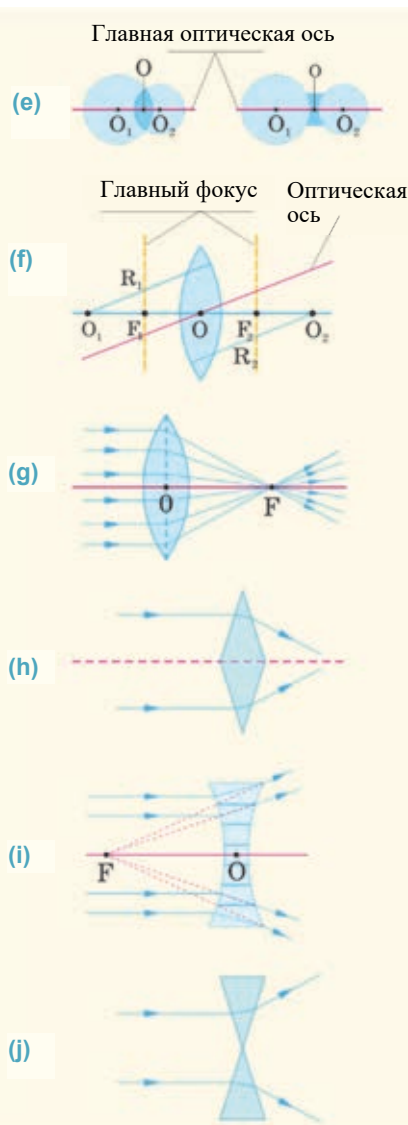
(d)



**Основные элементы сферической линзы (линза, ограниченная двумя сферическими поверхностями).**

– Линза, толщина которой намного меньше радиусов кривизны линз  $R_1$  и  $R_2$ , называется **тонкой линзой**.

Рассмотрим тонкие линзы (см.: а и с).



– Прямая линия, проходящая через центры  $O_1$  и  $O_2$  ограничивающих линзу сферических поверхностей, называется **главной оптической осью линзы**.

– Точка  $O$ , находящаяся в центре линзы на главной оптической оси, называется **оптическим центром линзы (е)**. Лучи света, проходящие через оптический центр, не преломляются.

– Любая линия, проходящая через оптический центр линзы, называется **оптической осью (f)**.

– Падающие на собирающую линзу параллельно главной оптической оси лучи света, преломляясь, пересекаются в одной точке, называемой **главным фокусом** и обозначаемой буквой  $F$ . Точка главного фокуса собирающей линзы действительная, потому что в этой точке пересекаются сами преломленные в линзе лучи (g). Чтобы понять, почему выпуклая стеклянная линза в воздухе обладает собирающими свойствами, достаточно сравнить ход лучей света в этих линзах с ходом лучей света в двух стеклянных призмах (h).

– Точка, в которой пересекаются продолжения падающих на рассеивающую линзу лучей, которые до преломления были параллельны ее главной оптической оси, называется **главным фокусом рассеивающей линзы**. Главный фокус рассеивающей линзы – мнимый, так как в этой точке пересекаются не сами лучи, а их продолжения (i). Чтобы понять, почему

вогнутая стеклянная линза в воздухе обладает рассеивающими свойствами, достаточно сравнить ход лучей света в этих линзах с ходом лучей света в двух стеклянных призмах (j).

Таким образом, элементы собирающей и рассеивающей линзы в тонкой линзе соответствующим образом схематически показаны на рисунке (k). В фокусе рассеивающей линзы пересекаются продолжения лучей, которые до преломления были параллельны ее главной оптической оси.

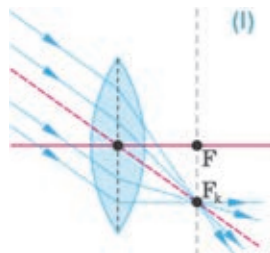


– Расстояние между оптическим центром линзы и точкой фокуса называется **фокусным расстоянием линзы**. Фокусное расстояние обозначается буквой  $F$ .

Каждая линза имеет две главные фокусные точки. В однородной среде они находятся по обе стороны от линзы на одинаковом расстоянии от нее (см.: k).

– Плоскость, проходящая через главную фокусную точку линзы перпендикулярно главной оптической оси, называется **фокальной плоскостью**. Точка пересечения всех оптических осей с фокальной плоскостью является фокусом линзы для этой оси (см.: l).

Падающие лучи света, параллельные любой оптической оси, после преломления в собирающей линзе собираются в точке пересечения этой оптической оси с фокальной плоскостью, в ее фокусе (l).



### Творческое применение

#### Исследование

**Определим главную точку фокуса линзы.**

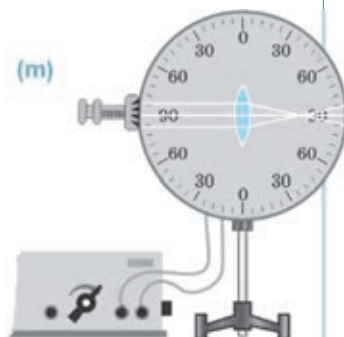
**Оборудование:** оптический диск, собирающие и рассеивающие стеклянные линзы.

**Ход исследования:**

1. Закрепите собирающую линзу в центре оптического диска. Направьте на поверхность линзы выходящие из источника света параллельные лучи вдоль главной оптической оси и наблюдайте за ходом лучей после преломления в линзе (m).
2. Повторите опыт, заменив собирающую линзу на рассеивающую.
3. Начертите на рабочем листке схему хода лучей в собирающей и рассеивающей линзах.

**Обсудите результат:**

- Как определили главную фокусную точку собирающей линзы?
- Смогли ли определить главную фокусную точку рассеивающей линзы? С какой стороны линзы она получилась?



Что вы узнали ?

• Перечертите данные схемы на рабочий листок и вместо точек напишите слова, соответствующие ключевым словам.



Ключевые слова: • Собирающая линза • Рассеивающая линза • Главная оптическая ось • Главная фокусная точка • Фокальная плоскость • Фокусное расстояние • Оптический центр • Радиус кривизны

### Проверьте свои знания

1. Укажите одинаковые и отличающиеся черты у собирающей и рассеивающей линз?
2. Сколько оптических осей и фокусов имеется у линз?
3. Почему фокус у собирающей линзы действительный, а у рассеивающей – мнимый?
4. У какой выпуклой линзы фокусное расстояние больше: у линзы с большим радиусом кривизны или у линзы с меньшим радиусом кривизны? Почему?

## 3.13 ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕЛА В ТОНКИХ ЛИНЗАХ

При взгляде через увеличительное стекло на тело, расположенное далеко, например, строящееся здание, оно будет выглядеть перевернутым и уменьшенным. Однако при взгляде через увеличительное стекло на маленькое тело, например, на марку вблизи, оно будет выглядеть прямо и увеличено.



- Почему тела через одно и то же увеличительное стекло выглядят по-разному?
- Изображение каких из этих тел в увеличительном стекле действительное, а каких – мнимое? Почему?



### Исследование 1

Какое изображение получилось в линзе?

**Оборудование:** собирающая линза с известным фокусным расстоянием, свеча, зажигалка, экран.

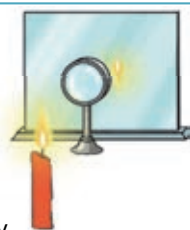
**Ход исследования:**

1. Поместите на поверхности стола вдоль одной прямой линии экран, собирающую линзу и зажженную свечу. Поместите свечу за двойным фокусным расстоянием линзы (а).
2. Придвигайте и удаляйте от линзы зажженную свечу до получения на экране четкого изображения пламени.
3. Поместите свечу между фокусом и двойным фокусом линзы. Удаляйте ее от линзы до получения на экране четкого изображения пламени.

**Обсудите результат:**

- Какие различия вы наблюдали при сравнении изображений пламени свечи на экране с самим пламенем?
- Каково ваше мнение о возможности получения на экране действительного или мнимого изображения?

(а)

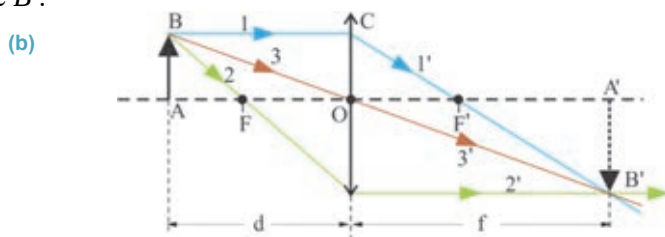


Зная ход произвольного луча после преломления в линзе, можно построить изображение любого тела. С этой целью строится изображение крайних точек тела. Лучи, выходящие с крайних точек, выбираются так, чтобы после преломления в линзе было легко построить их дальнейшее направление распространения. С этой точки зрения, для построения изображения крайней точки  $B$  удобнее использовать следующие лучи (b):

1. Луч 1, падающий на линзу параллельно главной оптической оси. После преломления в собирающей линзе этот луч проходит через ее фокус (луч 1').

2. Луч 2, проходящий через фокус линзы. Этот луч после преломления в собирающей линзе распространяется параллельно главной оптической оси (луч 2').

3. Луч 3, проходящий через оптический центр линзы. Этот луч, проходящий через оптический центр, распространяется, не подвергаясь преломлению (3'). Таким образом, изображение точки  $B$  получается пересечением лучей 1', 2' и 3' в точке  $B'$ .



**Внимание!** Для упрощения схемы построения изображения достаточно использовать два любых луча, отмеченных выше. Отметим, что изображение крайней точки  $A$ , находящейся на главной оптической оси, получается также на главной оптической оси ( $A'$ ). Здесь  $d$  – расстояние от тела до линзы,  $f$  – расстояние от изображения до линзы (см.: b).

**Построение изображения в тонкой собирающей линзе.** Во всех случаях, когда расстояние от тела до линзы больше фокусного расстояния  $d \geq F$ , в собирающей линзе получается действительное изображение, потому что изображение получается пересечением самих преломленных лучей. Действительное изображение всегда бывает перевернутым. В случае же, когда расстояние от тела до линзы меньше фокусного расстояния  $d < F$ , в собирающей линзе получается мнимое изображение тела. Изображение получается пересечением не самих преломленных лучей, а их продолжений. Мнимое изображение всегда бывает прямым.

Собирающая линза в пяти случаях дает действительное, в одном случае мнимое изображение:

1. При расположении тела на бесконечно большом расстоянии от линзы:  $d \rightarrow \infty$ . Действительное изображение тела получается в виде точки в фокусе линзы (преломленные в линзе лучи собираются в его фокусе):  $f = F$ .

2. При расположении тела за двойным фокусным расстоянием от линзы:  $d > 2F$ . Изображение тела получается действительным, уменьшенным и перевернутым. Изображение находится между фокусом и двойным фокусом линзы:  $2F > f > F$ .

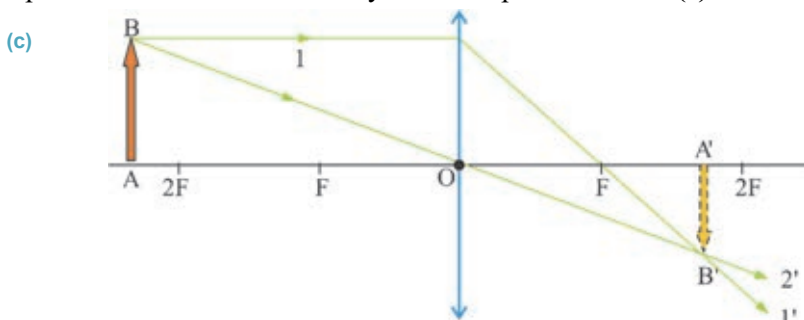
3. При расположении тела на двойном фокусе линзы:  $d = 2F$ . Изображение тела получается действительным, равным по размерам самому телу ( $f = 2F$ ) и перевернутым.

4. При расположении тела между фокусом и двойным фокусом линзы:  $2F > d > F$ . Изображение тела получается действительным, увеличенным и перевернутым. Изображение находится за двойным фокусом линзы:  $f > 2F$ .

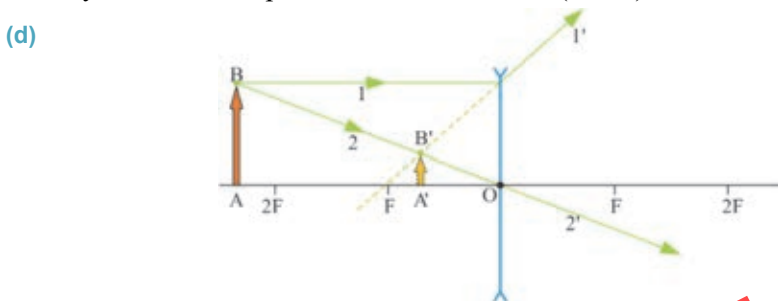
5. При расположении тела в фокусе линзы:  $d = F$ . Изображение получается в бесконечности, потому что преломленные в линзе лучи распространяются параллельно, пересекаясь в бесконечности:  $f \rightarrow \infty$ .

6. При расположении тела между линзой и ее фокусом:  $d < F$ . Изображение этого тела мнимое, прямое, увеличенное и находится по ту же сторону от линзы, что и тело. При рассмотрении под увеличительным стеклом марки наблюдается ее мнимое изображение.

На приведенном ниже рисунке представлена схема построения в тонкой собирающей линзе одного из случаев изображения тела (с).



Здесь использованы два луча, выходящие из точки **В**: **1** – луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси, после преломления он проходит через главный фокус линзы (луч **1'**). **2** – луч проходит через оптический центр линзы, не испытывая преломления (луч **2'**). Пересечение этих двух преломленных лучей дает изображение **А'В'** тела **АВ** (см.: с).



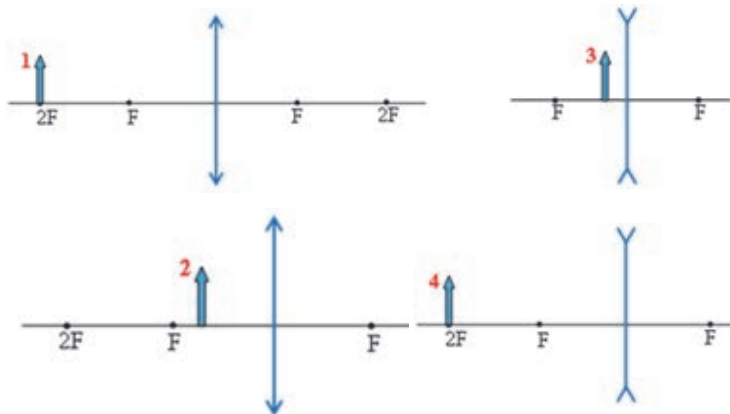
**Построение изображения в рассеивающей линзе.** Так как рассеивающая линза имеет мнимый фокус, то во всех случаях, независимо от расстояния между телом и линзой, получается мнимое, уменьшенное и прямое изображение. Изображение находится по ту же сторону от линзы, что и тело. На рисунке представлена схема построения изображения тела **АВ** в тонкой рассеивающей линзе при помощи удобных лучей (см.: d).

## Творческое применение

## Исследование 2

**Постройте изображение в тонкой линзе.**

На рисунке представлены схемы четырех тел и тонких линз. Перечертите схемы на рабочий листок и постройте изображения этих тел, используя удобные лучи.

**Обсудите результат:**

- У каких тел получились действительные, а у каких мнимые изображения? Почему?
- Где получились изображения тел в рассеивающей линзе?

## Что вы узнали?



• Перепишите данные в рабочий листок и закончите их для собирающей линзы:

- “Когда  $d \rightarrow \infty$  ...”;
- “Когда  $d > \dots$ ”;
- “Когда  $d = 2F$  ...”;
- “Когда  $2F > d > F$  ...”;
- “Когда  $d = F$  ...”;
- “Когда  $d < F$  ...”

## Проверьте свои знания

1. Какими лучами удобнее воспользоваться для построения изображения тела в линзе? Почему?
2. Где необходимо расположить тело, чтобы получить изображение такого же размера в собирающей линзе?
3. При каком расположении тела его изображение в собирающей линзе наблюдаться не будет? Почему?
4. Сравните полученные в линзах действительные и мнимые изображения: какие у них общие и отличительные черты?
5. Почему действительное изображение в рассеивающей линзе не получается?

### 3.6

- 
- A diagram of a convex lens with optical center O. The principal axis is marked with points 2F, F, O, F, and 2F from left to right. Vertical dashed lines are drawn at these points. A candle flame, labeled B, is placed at position 1, which is between the 2F and F points on the left side of the lens.

- 
- A horizontal beam is shown with four vertical supports. The first support on the left is labeled 'N' with an upward arrow. The second support is labeled '1' with a downward arrow. The third support is labeled '2' with a downward arrow. The fourth support on the right is labeled 'F' with a downward arrow. The beam is divided into three equal spans, each labeled 'F' with a double-headed arrow below the beam.

- 

- 

- 

- 
- A diagram of a thin lens with a vertical optical axis. The principal axis is horizontal. Two focal points are marked on the left side:  $F$  (closer to the lens) and  $2F$  (further from the lens). An object, labeled  $K$ , is represented by a pink arrow pointing upwards, located between  $F$  and  $2F$ . A real, inverted image, labeled  $K'$ , is formed on the right side of the lens, between  $F$  and  $2F$ .

- высота изображения уменьшается;
- A) 1 и 2  
B) только 3  
C) только 1  
D) 2 и 3  
E) только 2

### 3.14 ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ

При изменении расстояния от предмета до линзы изменяется и расстояние от линзы до изображения.

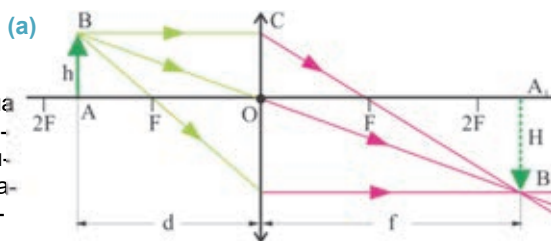


• Какая закономерность имеется в этом изменении? Как это можно определить?

#### Исследование 1

**Определите расстояние от предмета до линзы.**

**Задача.** Изображение предмета на экране, расположенном на расстоянии  $f = 52$  см от собирающей линзы, получается в 4 раза больше самого тела (а). Определите расстояние от тела до линзы.



| Дано                                             | Решение                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f = 52 \text{ см} = 0,52 \text{ м}$<br>$H = 4h$ | Из подобия треугольников ABO и A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> O имеем:<br>$\frac{H}{h} = \frac{f}{d} \rightarrow d = \frac{fh}{H}.$ |
| $d = ?$                                          | Вычисление                                                                                                                         |
| Ответ:                                           | ...                                                                                                                                |

**Обсудите результат:**

- Чему равно расстояние от предмета до линзы?
- Как можно определить фокусное расстояние по приведенным данным?
- Есть ли общая закономерность, связывающая друг с другом расстояния от предмета до линзы, расстояние от линзы до изображения и фокусное расстояние?

Общая закономерность, связывающая расстояние от тела до линзы, расстояние от линзы до изображения и фокусное расстояние друг с другом выражается *формулой линзы*. Решив задачи в исследовании, вы уже приступили к выводу этой формулы. Так, из подобия треугольников ABO и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>O имеем:

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{d}, \quad (1)$$

а из подобия треугольников COF и A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>F имеем:

$$\frac{H}{h} = \frac{f - F}{F}. \quad (2)$$

Сопоставив выражения (1) и (2), получим:

$$\frac{f}{d} = \frac{f - F}{F}.$$

Отсюда

$$fF = df - dF \text{ или } df = fF + dF.$$

Разделив обе части последнего равенства на произведение  $fdF$ , получим:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (3)$$

Выражение (3) является формулой тонкой собирающей линзы. Если изображение в собирающей линзе мнимое, то перед выражением  $\frac{1}{f}$  ставится знак минус.

В формуле тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = D \quad (4)$$

называется *оптической силой линзы*:

• Величина, обратная главному фокусному расстоянию линзы, называется **оптической силой линзы**. Единицей оптической силы в СИ является **диоптрия** (1 дптр).

1 диоптрия – это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м:

$$[D] = \frac{1}{[F]} = \frac{1}{\text{м}} = 1 \text{ дптр.}$$

С учетом выражения (4) в (3) формулу тонкой линзы можно записать и так:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \quad (5)$$

**Внимание!** Оптическая сила и фокусное расстояние линзы не зависят от расстояния от предмета до линзы и от линзы до изображения, а зависят от радиуса кривизны сферических поверхностей линзы, от материала линзы и от показателя преломления среды, в которую она помещена. Для собирающей линзы фокусное расстояние и оптическая сила положительны ( $F > 0$ ,  $D > 0$ ), а для рассеивающей линзы фокусное расстояние и оптическая сила отрицательны ( $F < 0$ ,  $D < 0$ ).

Так как главный фокус и изображение в рассеивающей линзе мнимые, то в формуле тонкой линзы выражения перед величинами  $\frac{1}{F}$  и  $\frac{1}{f}$  ставится знак минус. Таким образом, формула тонкой рассеивающей линзы приобретает вид:

$$-\frac{1}{|F|} = \frac{1}{d} - \frac{1}{|f|}. \quad (6)$$

Для сравнения линейных размеров предмета и его изображения в линзе используется величина, называемая *линейным увеличением линзы*:

• *Линейное увеличение линзы – это физическая величина, равная отношению линейного размера изображения к линейному размеру предмета*. Линейное увеличение линзы обозначается буквой  $\Gamma$  (гамма):

$$\Gamma = \frac{H}{h}. \quad (7)$$

Из выражения (1) видно, что:

$$\Gamma = \frac{f}{d}. \quad (8)$$

• *Линейное увеличение линзы равно отношению расстояния от линзы до изображения к расстоянию от тела до линзы*.

Линейное увеличение – безразмерная величина.

## Творческое применение

## Исследование 2

## Изображение мнимое или действительное?

**Задача.** При рассмотрении предмета лупой с оптической силой +4,5 дптр на расстоянии 2 см наблюдается его увеличенное изображение. Определите расстояние от лупы до изображения. Изображение мнимое или действительное?

## Обсудите результат:

- По какой формуле нужно определить расстояние от лупы до изображения?
- Как определить, является ли изображение мнимым или действительным?

## Что вы узнали?



• Отметьте в рабочем листке объяснения и математические выражения данных ключевых слов.

Ключевые слова: • Формула линзы • Оптическая сила линзы • Линейное увеличение линзы • Диоптрия •

## Проверьте свои знания

1. Как можно определить фокусное расстояние линзы?
2. От чего зависит оптическая сила линзы?
3. Напишите формулу тонкой собирающей линзы, создающей мнимое изображение.
4. Как можно определить увеличение линзы?

## Практическая работа 3.2

## Определение фокусного расстояния и оптической силы собирающей линзы.

**Оборудование:** собирающая линза на подставке, источник света (лампа или свеча), экран, измерительная лента.

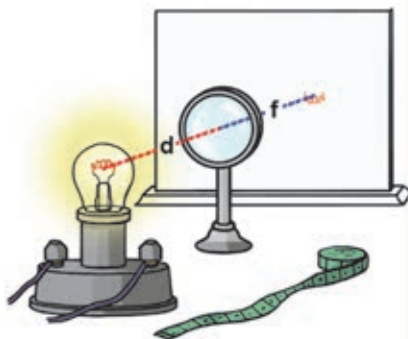
## Ход исследования:

1. Поместите на одном краю стола лампу, на другом краю стола экран, а между ними линзу вдоль одной прямой линии.
2. Включите лампу и передвигайте линзу вдоль прямой линии до тех пор, пока на экране появится четкое изображение нити накаливания лампы.
3. Измерьте расстояния от лампы до линзы и от линзы до экрана.
4. Определите фокусное расстояние и оптическую силу собирающей линзы на основании формулы линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}; \quad D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

5. Повторите опыт несколько раз, меняя расстояние от лампы до линзы.
6. Перепишите схему опыта и таблицу на рабочий листок. Запишите результаты измерений в таблицу:

| № опыта | d, (м) | f, (м) | F, (м) | D, (дптр) |
|---------|--------|--------|--------|-----------|
| 1       |        |        |        |           |
| 2       |        |        |        |           |
| 3       |        |        |        |           |



**Упражнение****3.7**

1. На экране получено изображение пламени свечи от собирающей линзы. Определите фокусное расстояние и оптическую силу линзы, если расстояние от свечи до линзы 4 м, а расстояние от линзы до экрана 1 м.
2. На экране получено изображение точечного источника света от собирающей линзы. Каково линейное увеличение линзы, если расстояние от источника до линзы 1,5 м, а расстояние от линзы до изображения 3 м?
3. Линейный размер созданного рассеивающей линзой мнимого изображения предмета равен 45 см. Определите увеличение линзы, если линейный размер этого предмета равен 15 см.
4. Ученик читает текст с мелким шрифтом при помощи лупы с оптической силой +5 дптр, расположив его на расстоянии 2 см от листа. На каком расстоянии от линзы видит ученик изображение текста? Видимое изображение действительное или мнимое?
5. Расстояние от тела до линзы в 5 раз больше фокусного расстояния. Во сколько раз изображение предмета меньше его самого?
6. Расстояние от собирающей линзы до предмета в 2 раза больше фокусного расстояния линзы. Расстояние между предметом и его изображением равно 20 см. Определите оптическую силу линзы.

А) 20 дптр    В) 25 дптр    С) 22 дптр    D) 10 дптр    E) 15 дптр

LAYIH

### 3.15 ГЛАЗ И ЗРЕНИЕ

В 1896 году психолог из США Джон Стреттон поставил на себе такой эксперимент. Он надел на глаза очки, переворачивающие все изображения предметов. В результате мир в сознании Стреттона перевернулся: он стал видеть все предметы “вверх ногами”, нарушилась связь глаз с другими органами чувств и у него возникла “морская болезнь”. Через четверо суток, в течение которых продолжались эти нарушения организма, ученый начал себя чувствовать нормально, как до эксперимента: стал правильно видеть все предметы. Однако, сняв очки, он опять увидел мир перевернутым и только через несколько часов восстановилось нормальное зрение.



- Почему ученый, надев очки, переворачивающие все изображения, несколько дней видел все предметы перевернутыми?
- Человек видит глазами или разумом?



#### Исследование

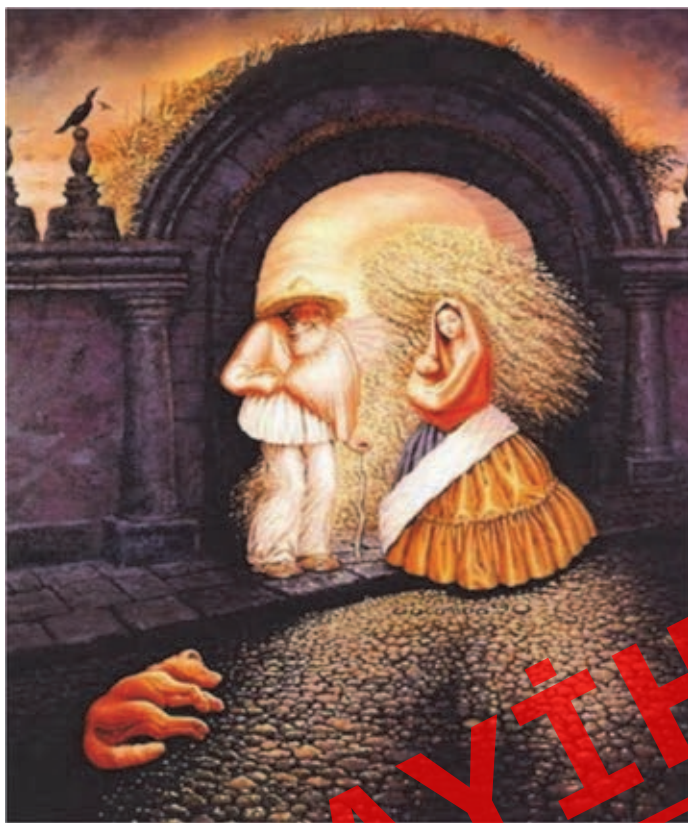
1

#### Зрительные иллюзии

##### Ход исследования:

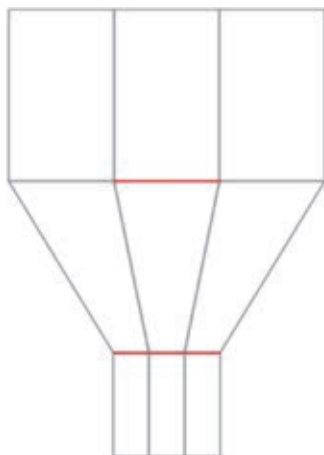
- Сколько образов людей изображены на рисунке (1)?

Автор:  
Октавио Окампо

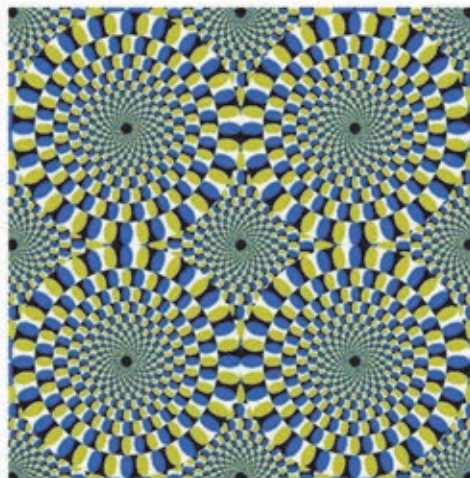




## Исследование



(2) • Какая из красных линий длиннее?



- На рисунке представлены вращающиеся круги (3). На самом ли деле эти круги вращаются?

Автор: Акиоши Китаока

### Обсудите результат:

- Что наблюдалось при исследовании представленного рисунка с первого взгляда?
- Почему на первом рисунке сначала видны изображения образов 2 человек, а затем при внимательном рассмотрении рисунка по частям – образы 9 человек?
- При измерении линейкой длины красных линий на втором рисунке выяснилось, что они одинаковые. Почему с первого взгляда они кажутся разными по длине?
- Почему диски на третьем рисунке на первый взгляд вращаются, а при рассмотрении каждого из них в отдельности видно, что они неподвижны?
- Исследуйте эти информации, полученные глазом, и оцените их разнообразие.

Как вы знаете, 90% информации об окружающем мире человек получает посредством органов зрения. Глаз, как зрительный орган, является очень совершенной и сложной по строению, но в то же время простой оптической системой.

**Из каких частей состоит человеческий глаз?** Глаз человека – очень нежный орган, основной частью которого является *глазное яблоко* (а). Его диаметр приблизительно 2,5 см.

#### (а) Строение человеческого глаза

1. Склера (белковое покрытие)
2. Роговая оболочка
3. Радужная оболочка
4. Зрачок
5. Сетчатая оболочка (сетчатка)
6. Хрусталик
7. Передняя камера
8. Внутренняя камера
9. Зрительные нервные волокна



LAYIN

Глазное яблоко окружено оболочкой, называемой *склерой* (1). Склера, состоящая из плотных соединительных тканей, защищает глаз от внешних воздействий и защищает его целостность. Склера непрозрачна, прозрачна только ее несколько выпуклая передняя часть. Эта часть, называемая *роговой оболочкой* (2), преломляет и пропускает внутрь глаза 50÷70% падающих на глаз лучей света. За роговой оболочкой расположена *радужная оболочка* (3). Радужные оболочки у разных людей бывают разных цветов – голубого, серого, зеленоватого, коричневого и других.

В средней части радужной оболочки имеется отверстие, называемое *зрачком* (4). Размер зрачка меняется независимо от воли человека: при ярком освещении он сужается, препятствуя полному проникновению лучей внутрь глаза, а при слабом освещении расширяется, создавая условия для полного проникновения слабых лучей света в глаз. Внутреннюю часть глазного дна покрывает чувствительная к свету *сетчатая оболочка* (5) (которая иногда называется *сетчаткой*), покрывающая дно глаза и состоящая из узлов и окончаний *зрительных нервов* (9). За радужной оболочкой расположен *хрусталик*, являющийся естественной двояковыпуклой линзой. Хрусталик делит глаз на две части: переднюю часть (*передняя камера*) (7), заполненную прозрачной жидкостью и внутреннюю часть (*внутренняя камера*) (8), заполненную стекловидным телом.

*Прозрачные элементы, преломляющие лучи света в глазе, – роговая оболочка, передняя камера, хрусталик и внутренняя камера – образуют его оптическую систему.*

В таблице 3.2 даны значения показателей преломления элементов оптической системы глаза.

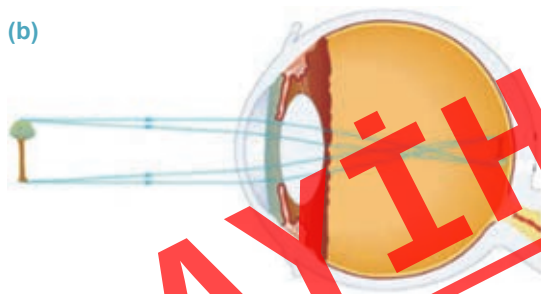
**Таблица 3.2.**

| Элементы глаза         | Роговая оболочка | Передняя камера (прозрачная жидкость) | Хрусталик | Внутренняя камера (стекловидное тело) |
|------------------------|------------------|---------------------------------------|-----------|---------------------------------------|
| Показатель преломления | 1,376            | 1,336                                 | 1,386     | 1,337                                 |

**Как видит глаз?** Лучи света, падающие в глаз от предмета, проходят через его оптическую систему преломившись. В результате на сетчатой оболочке получается действительное, уменьшенное и перевернутое изображение тела (b).

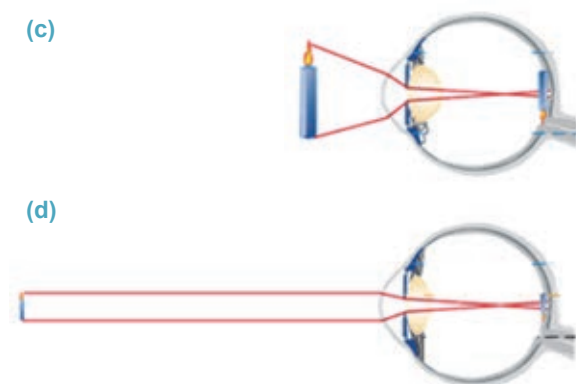
Изображение предмета на сетчатой оболочке будет четко видно даже при изменении расстояния от предмета до глаза. Причина этого (b) кроется в свойстве хрусталика глаза менять свою выпуклость.

Изменение выпуклости означает изменение его радиуса кривизны и фокусного расстояния – изменение оптической силы.



• Свойство хрусталика глаза менять свою оптическую силу называется **аккомодацией**.

В результате аккомодации глаза мгновенно приспособляются к четкому видению предметов, расположенных как далеко, так и рядом (от лат. *assotodatio* – “приспособление”). Например, при взгляде на предметы, расположенные относительно близко, выпуклость хрусталика увеличивается и проходящие через него лучи света преломляются больше (**с**). В результате изображение тела на сетчатой оболочке также увеличивается. С увеличением расстояния предмета от глаза выпуклость хрусталика уменьшается, на сетчатой оболочке глаза получается действительное уменьшенное изображение тела (**д**).



Значит, изображения тел на сетчатке глаза получаются перевернутыми, но мы их видим прямыми. Это происходит потому, что в процессе видения участвуют и другие органы чувств. Так, под воздействием полученного на сетчатой оболочке изображения окончания нервных волокон возбуждаются. Это возбуждение передается на участок головного мозга, ответственный за зрение, где принятая визуальная информация мгновенно анализируется: оцениваются размеры предмета, цвет, освещенность, расстояние до него. В результате мозг формирует реальную видимую картину окружающего мира. Следовательно, глаз является одним из инструментов для видения мозгом.

#### Творческое применение



#### Исследование

2

##### Определение аккомодации хрусталика.

**Оборудование:** лист белой бумаги (размеры 7×7 см), маркер, ручка.

##### Ход исследования:

1. В середине листа сделайте отверстие и вокруг него по периметру напишите ручкой несколько произвольных чисел, например, “2 4 5 9 6”, а на доске напишите маркером одно произвольное слово, например, “линза”.



### Исследование

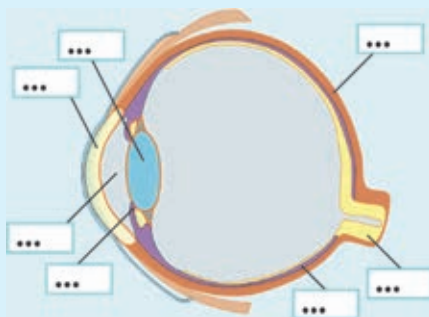
2. Поместите лист перед собой так (например, на расстоянии 25 см), чтобы числа, написанные по периметру, были четко видны. В этом положении закройте один глаз, другим же глазом посмотрите через отверстие на слово, написанное на доске. Обратите внимание, как при этом видны числа в листе и слово на доске.
3. Направьте взгляд открытого глаза через отверстие на числа в листе, при этом обратите внимание, насколько четко видны числа в листе и надпись на доске.

#### Обсудите результат:

- Что видно четче и яснее при взгляде через отверстие в листе на написанное на доске слово – числа или само слово?
- Какая надпись видна четче и яснее при переводе взгляда с доски на лист?
- Как изменил форму хрусталик при взгляде вдаль и вблизи?

### Что вы узнали ?

- Перерисуйте изображение строения человеческого глаза в рабочий листок и напишите вместо точек слова, соответствующие ключевым словам.



Ключевые слова: • склера • сетчатая оболочка • зрачок • роговая оболочка • хрусталик • зрительные нервы • радужная оболочка • стекловидное тело •

### Проверьте свои знания

1. Почему попадающие в глаз лучи света должны фокусироваться на ее сетчатой оболочке?
2. Какое изображение тела получается на сетчатой оболочке: мнимое или действительное?
3. Какова “обязанность” зрачка?
4. Какие элементы образуют оптическую систему глаза?
5. Есть такое выражение: “Человек видит не глазом, глаз является инструментом для видения”. Верна ли эта мысль?

### 3.16 ДЕФЕКТЫ ЗРЕНИЯ. ОЧКИ

Вы, наверное, наблюдали, что некоторые люди при чтении держат лист далеко от глаз.



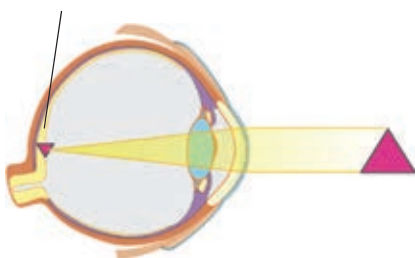
- Какой дефект зрения имеется у этих людей?

А некоторые люди, наоборот, при чтении подносят лист очень близко к глазам.

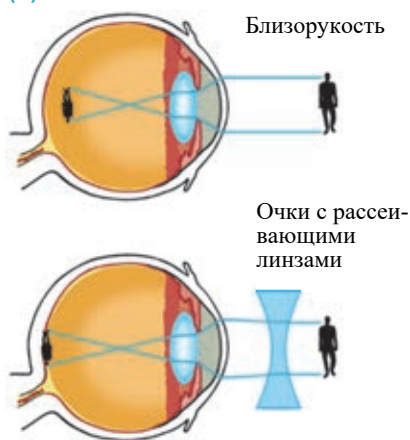


- Какой недостаток зрения имеется у этих людей?

- (a) Фокус находится на поверхности сетчатой оболочки



(b)



Фокус оптической системы глаза без дефекта находится на сетчатой оболочке (a). Такой глаз видит тела четко и без напряжения. Он не устает при наблюдении за далеко расположенными предметами. Но многие люди страдают от дефектов зрения, среди которых два недостатка имеют наибольшее распространение. Это *близорукость* и *дальнозоркость*.

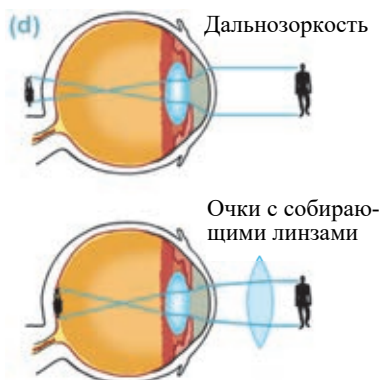
*Близорукость.* Фокус оптической системы близорукого глаза располагается не на сетчатой оболочке, а перед ней. Поэтому люди, имеющие близорукие глаза, не могут четко видеть расположенные далеко предметы. Чтобы разглядеть отдельные детали предмета, они вынуждены приближать их к глазу. Проведенные исследования показали, что оптическая сила близорукого глаза больше оптической силы нормального глаза. Для устранения такого недостатка необходимо уменьшить оптическую силу глаза. От близорукости можно избавиться при помощи очков с рассеивающими линзами.

Так, линзы очков с отрицательной “–” оптической силой (например, – 2 дптр, – 2,5 дптр и т.д.) уменьшают оптическую силу глаза и изображение предмета получается как в нормальном глазе – на сетчатой оболочке глаза (b).

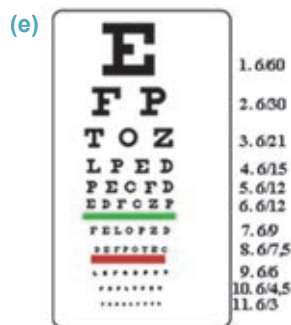
**Внимание!** Расстояние наилучшего зрения для нормального глаза  $\approx 25$  см. Это расстояние называется *расстоянием наилучшего видения*. Нормальный глаз, длительное время смотрящий на очень близко расположенные предметы, может заработать близорукость. Читать, писать, рисовать и чертить, смотреть телевизор и на компьютер с очень близкого расстояния в слабо освещенном месте очень вредно, особенно в школьные годы. Происходит деформация глазного яблока и всей оптической системы глаза, и глаз с легкостью приобретает близорукость, так как в эти годы склера еще не приобрела достаточной прочности.



В китайских школах на партах закрепляют металлические ограничители, не позволяющие детям очень низко опускать головы, для формирования навыка читать и писать на оптимальном расстоянии видения (c).



*Дальнозоркость.* Фокус оптической системы дальнозоркого глаза располагается не на сетчатой оболочке, а за ней. Поэтому дальнозоркий глаз без напряжения (не изменяя выпуклость хрусталика) не может видеть близко расположенные предметы. Оптическая сила такого глаза меньше оптической силы нормального глаза. Для устранения этого недостатка необходимо увеличить оптическую силу глаза. При помощи очков с собирающими линзами можно устранить дальнозоркость глаз. Так, линзы очков с оптической силой “+” (например, +2 дптр, + 2,5 дптр и т.д.) увеличивают оптическую силу глаза, и изображение предмета получается на сетчатой оболочке глаза (d). Одна из причин дальнозоркости – утрата эластичности хрусталика. При этом, несмотря на усилия глазных мышц, толщина хрусталика не меняется.



размеры букв от строчки к строчке постепенно уменьшаются (e). Нормальный глаз без напряжения видит буквы в первой строке с расстояния 60 м, а буквы 9-й строки с расстояния 6 м. Существуют таблицы и с разным порядком расположения букв в строках.

**Что показывают цифры с правой стороны таблицы Снеллена?** Цифры в первом столбце показывают порядковый номер строк. Цифры во втором столбце показывают расстояние от места расположения таблицы до тестируемого глаза (6 м), а цифры в третьем столбце, после наклонной линии, показывают расстояние, с которого нормальный глаз может видеть буквы соответствующей строки.

## Творческое применение

### Исследование

**Проведите онлайн-проверку своего зрения.**

**Оборудование:** компьютер, интернет-сайт EyeExamOnline.com (или [http://www.eyexamonline.com/ru/exam-right-eye\\_what-letters-are-clear.html](http://www.eyexamonline.com/ru/exam-right-eye_what-letters-are-clear.html)).

**Ход исследования:**

1. Войдите в указанный сайт и сядьте перед монитором на расстоянии 1 м.
2. Сначала проверьте правый глаз. Для этого закройте левый глаз и щелкните строку на экране, которую свободно можете видеть без напряжения правого глаза, эта строка выделится внизу таблицы (f).
3. А теперь проверьте левый глаз. Для этого закройте правый глаз и повторите опыт.

(f)



**Обсудите результат:**

- Какой из ваших глаз видит лучше?
- Буквы какой строки таблицы будут видны четче, если глаз близорукий?
- Буквы какой строки таблицы будут видны четче, если глаз дальнозоркий?

Что вы узнали



• Запишите в рабочем листке краткое объяснение значения данных ключевых слов.

**Ключевые слова:** • нормальный глаз • расстояние наилучшего видения • дальнозоркость • близорукость • таблица Снеллена •

### Проверьте свои знания

1. В чем суть близорукости?
2. В какой части глаза получаются изображения предметов, расположенных далеко и близко при дальнозоркости?
3. На рецепте написано: "Очки: левый глаз + 2дптр, правый глаз - 1,5дптр". Что это означает, какие дефекты имеют глаза? Какие фокусные расстояния имеют эти линзы в очках?

**LAYIN**

### 3.17 Фотоаппарат

Все вы любите фотографировать пейзажи в местах отдыха и наблюдаемые интересные явления. Некоторые это делают фотоаппаратом, а другие фотокамерой мобильных телефонов.



- Что общего в оптической системе этих аппаратов?
- Что вам напоминает принцип работы фотоаппарата?

#### Исследование 1

Соберем “фотоаппарат”.

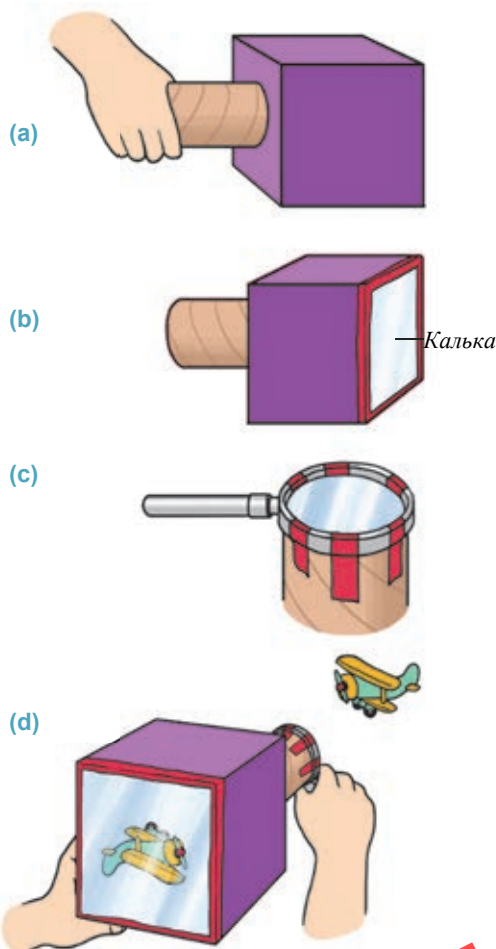
**Оборудование:** квадратная коробка темного цвета с одной открытой стороной (коробку можете изготовить из коробки из-под сока), картонная труба, лупа, ножницы, клей, калька, липкая лента.

**Ход исследования:**

1. Сделайте ножницами отверстие на дне коробки. Размеры отверстия отрегулируйте так, чтобы картонная труба в ней могла свободно вращаться (a).
2. Заклейте открытую сторону коробки калькой (b).
3. Изготовьте объектив, закрепив лупу липкой лентой на открытом конце трубы (c).
4. Направьте объектив аппарата на хорошо освещенный предмет, присмотритесь к стороне с калькой (окуляр) (d).

**Обсудите результат:**

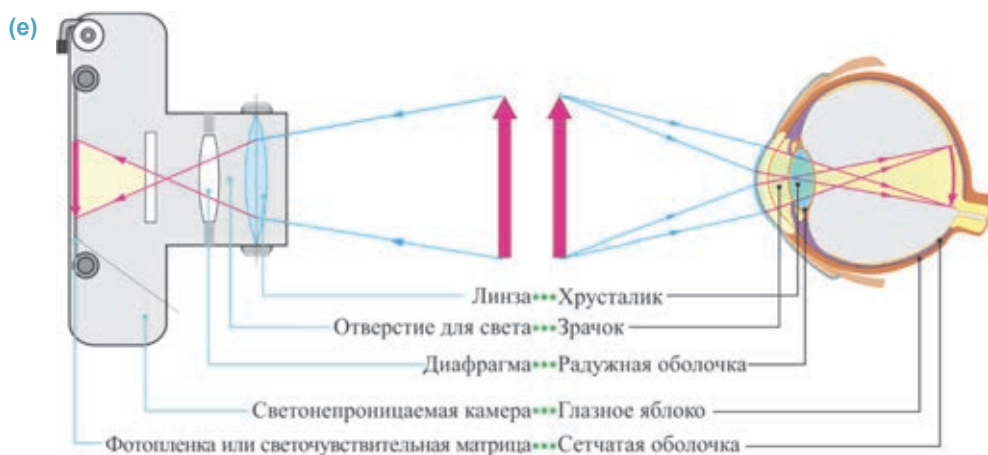
- Почему в вашем фотоаппарате изображение предмета получилось перевернутым?
- Нарисуйте на рабочем листке схему получения изображения этого предмета.



После всестороннего изучения глаза люди изготовили на основании его строения и принципа работы прибор, получающий и сохраняющий изображение тела – *фотоаппарат*.

*Фотоаппарат* – это оптическое устройство, документирующее снимок (запоминающее) действительного изображения предмета.

Ниже приводится упрощенная сравнительная схема строения и принцип работы глаза и фотоаппарата (е).



Фотоаппараты в основном делятся на две группы: *обычные фотопленочные* и *цифровые фотоаппараты*. Устройство их, можно сказать, одинаковое: светонепроницаемая камера, объектив, диафрагма, светочувствительный элемент. Обычный и цифровой аппараты отличаются фоточувствительными элементами: в обычном фотоаппарате это фотопленка, а в цифровом фотоаппарате – светочувствительная матрица. Матрица состоит из миллионов светочувствительных ячеек. В этих ячейках помещаются фотоэлементы, называемые *пикселями*.

Светонепроницаемая камера фотоаппарата защищает фотопленку (или светочувствительную матрицу) от лучей света, когда не производится съемки. На передней стенке камеры помещается объектив. Объектив предназначен для получения действительного изображения фотографируемого предмета на фотопленке или светочувствительной матрице. Так как обычно предмет располагается за двойным фокусом объектива ( $d > 2F$ ), то его действительное изображение получается уменьшенным между фокусом и двойным фокусом ( $F < f < 2F$ ) объектива перед задней стенкой камеры. Поэтому фотопленка или светочувствительная матрица помещаются в том месте, где получается изображение (см.: е). До начала съемок фотоаппарат “регулируют по четкости”, то есть объектив плавно перемещается вперед или назад до получения четкого изображения тела на фотопленке (или светочувствительной матрице), что соответствует аккомодации глаза.

В обычном фотоаппарате под действием идущих от предмета лучей света в химическом составе фотопленки происходят невидимые глазу изменения. После обработки фотопленки специальными химическими растворами (“проявителем” и “закрепителем”) на ее поверхности появляется изображение тела.

Затем это изображение переносится на фотобумагу и печатается реальная фотография тела.

В цифровом же фотоаппарате происходит электрическое воздействие света. Так, под действием падающих на поверхность светочувствительной матрицы лучей света в каждой ячейке из миллионов пикселей возникает электрический сигнал. Эти сигналы зависят от интенсивности падающего света. Электрические сигналы передаются на процессор, и там после обработки снова превращаются в изображение, и сохраняются в карте памяти (f).



### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** Расстояние от объектива фотоаппарата до фотографируемого предмета 6 м, а расстояние от объектива до изображения 6 см. Определите фокусное расстояние и оптическую силу объектива.

**Обсудите результат:**

- По какой формуле вычисляется фокусное расстояние собирающей линзы?
- Какова единица измерения оптической силы линзы?
- Чему равны фокусное расстояние и оптическая сила объектива фотоаппарата?

Что вы узнали ?

• Перенесите таблицу в рабочий листок. Сравните фотоаппарат с глазом, записав в клетках данные ключевые слова, соответствующие элементам глаза.

**Ключевые слова:** • объектив • фотопленка или светочувствительная матрица • светопропускающее отверстие • диафрагма •

| Глаз                                                             | Фотоаппарат |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| роговая оболочка, передняя камера, хрусталик и стекловидное тело |             |
| зрачок                                                           |             |
| радужная оболочка                                                |             |
| сетчатая оболочка                                                |             |

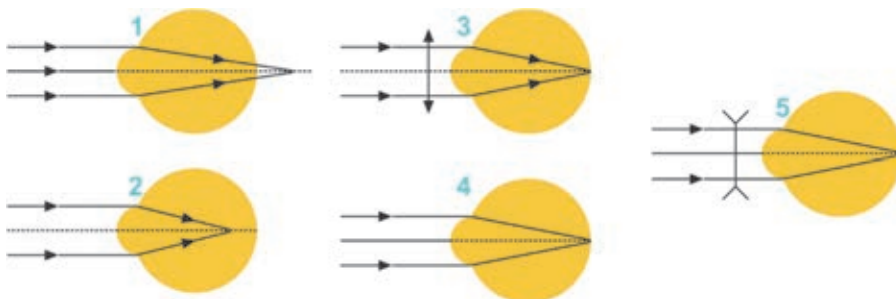
#### Проверьте свои знания

1. Где и как получается изображение от объектива фотоаппарата?
2. Как осуществляется в фотоаппарате явление, соответствующее аккомодации хрусталика глаза?
3. Какой вид фотокамеры применяется в мобильных телефонах: обычный или цифровой? Ответ обоснуйте.

**Упражнение**

**3.8**

1. Какие из представленных рисунков соответствуют дальновзорким глазам в очках и без них?



2. Какие из представленных в предыдущей задаче рисунков соответствуют близоруким глазам в очках и без них?
3. В каком случае фокусное расстояние зрачка глаза больше: при чтении вами книги, или просмотре телевизора? Почему?
4. Дедушка использует в очках линзы с оптической силой + 6 дптр. Каково фокусное расстояние этих линз? Какой недостаток зрения у дедушки?
5. При взгляде через окно на улицу невозможно одновременно четко видеть предметы, расположенные далеко и близко: когда близко расположенные предметы видны четко, то далеко расположенные предметы видны мутно и наоборот. Почему?
6. Определите увеличение объектива фотоаппарата, если при высоте тела 2 м, его изображение получается высотой в 2 см.

A) 1 B) 0,1 C) 0,01 D) 10 E) 0,001

**LAYIH**

## Обобщающие задания

1. Козырек над входной дверью здания освещается двумя уличными фонарями. Мальчик, стоящий в стороне от козырька ...

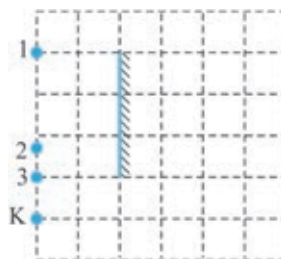
- А) Находится в полной тени козырька.  
 В) Находится в полутени, так как освещается только лампой В.  
 С) Находится в полутени, так как освещается только лампой А.  
 D) Освещается обеими лампами.  
 E) Находится в полутени обеих ламп.



2. Астрономы изучают лучи света, идущие от звезды, находящейся на расстоянии  $l = 8$  парсек от Земли. Учитывая, что 1 парсек  $\approx 3,26$  свет.год (световой год – расстояние, которое проходит свет в вакууме за один год), определите расстояние от Земли до звезды, которую исследуют астрономы ( $c \approx 3 \cdot 10^8$  км/с).

- А)  $\approx 8 \cdot 10^8$  км  
 В)  $\approx 16 \cdot 10^8$  км  
 С)  $\approx 7,5 \cdot 10^{13}$  км  
 D)  $\approx 15 \cdot 10^{13}$  км  
 E)  $\approx 25 \cdot 10^{13}$  км

3. Какая из точек 1, 2 и 3 не будет видна, если смотреть на плоское зеркало из точки К?



4. Определите абсолютный показатель преломления данной среды, зная, что скорость распространения света в нем равна  $1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

(скорость распространения света в вакууме:  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с).

- А) 2 В) 1,5 С) 4,5 D) 0,5 E) 3

5. Сколько раз подвергнется преломлению луч света при падении через воздух на поверхность воды в стеклянном стакане под определенным углом ( $\alpha \neq 90^\circ$ )?

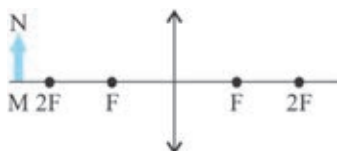
- А) 2 В) 1 С) 5 D) 3 E) 4

6. Фокусное расстояние собирающей линзы равно  $F$ , а расстояние от предмета до линзы  $d$ . Каким получится изображение предмета, если выполняется условие  $F < d < 2F$ ?

- А) Действительное, с размерами самого предмета  
 В) Мнимое, уменьшенное  
 С) Действительное, уменьшенное  
 D) Действительное, увеличенное  
 E) Мнимое, увеличенное

7. Определите расстояние от изображения предмета MN, указанного на рисунке, до линзы.

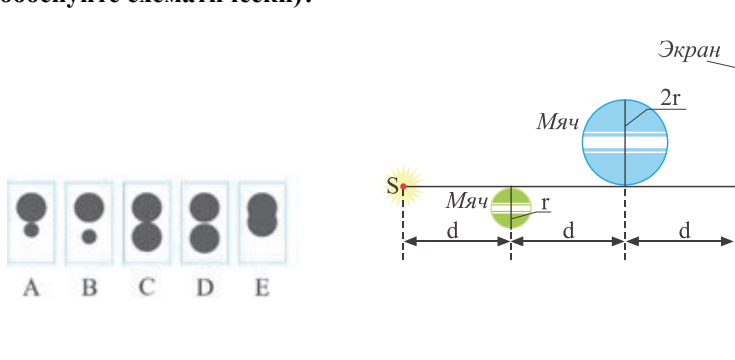
- A)  $F < f < 2F$ , действительное, перевернутое и уменьшенное  
 B)  $f < F$ , действительное, перевернутое и увеличенное  
 C)  $f = F$ , мнимое, прямое и уменьшенное  
 D)  $f = 2F$ , действительное, перевернутое с размерами самого предмета  
 E)  $f > 2F$ , действительное, перевернутое и увеличенное



8. Лучи света, параллельные главной оптической оси, после преломления в линзе пересекаются на расстоянии 40 см от линзы. Определите оптическую силу линзы.

- A) 4 дптр B) 0,4 дптр C) 0,5 дптр D) 0,25 дптр E) 2,5 дптр

9. Точечный источник света S, два мяча радиусами  $r$  и  $2r$  помещены перед экраном, как показано на рисунке. Какие тени от мячей наблюдаются на экране (ответ обоснуйте схематически)?



10. Определите соответствия.

- I – Расстояние от собирающей линзы до действительного изображения  
 II – Увеличение собирающей линзы  
 III – Фокусное расстояние собирающей линзы  
 IV – Расстояние от собирающей линзы до тела

$$1 - \frac{F}{d-F}; \quad 2 - \frac{dF}{d-F}; \quad 3 - \frac{Ff}{f-F}; \quad 4 - \frac{fd}{f+d}.$$

- A) I – 2, II – 1, III – 4, IV – 3  
 B) I – 1, II – 3, III – 2, IV – 4  
 C) I – 3, II – 2, III – 4, IV – 1  
 D) I – 1, II – 2, III – 4, IV – 3  
 E) I – 3, II – 1, III – 2, IV – 4

# АТОМ И АТОМНОЕ ЯДРО

4

## 4.1 Радиоактивность

Возможно, вы слышали такое высказывание – “курение – это медленная смерть”. Но, наверное, не слышали, что в составе табака имеется смертельно опасный для организма человека радиоактивный химический элемент полоний-210. При курении частички этого элемента оседают в организме – на легкие и гортань. В результате радиации накопившихся там частичек, человека поражает смертельная болезнь – рак легких и гортани.



- Чем отличается радиоактивный химический элемент от других элементов?
- Почему радиоактивный химический элемент опасен для человека?
- Что значит радиация?



• Отложения радиоактивного полония-210

### Исследование 1

#### Результат из эксперимента Резерфорда.

##### Ход исследования:

Ниже приводится краткое изложение эксперимента, проведенного английским физиком Резерфордом. Прочитайте его внимательно и по результату эксперимента сформулируйте свои предположения.

В свинцовый контейнер (2), имеющий узкий выходной канал (1), помещается радиоактивное вещество радий (3). На выходе канала создается мощное магнитное поле, линии магнитной индукции которого перпендикулярны к каналу.

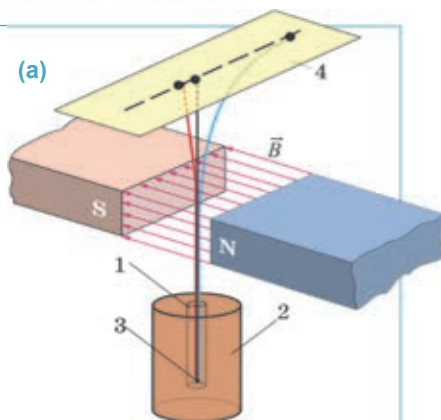
При исследовании поверхности фотопластинки (4), помещенной на пути следования лучей, было обнаружено три темных пятна (а).

Одно из этих пятен получилось напротив выхода канала, а другие два пятна получились в диаметрально противоположных точках от канала.

Значит, радиоактивное вещество подверглось самопроизвольному излучению и это излучение имеет сложную структуру.

##### Обсудите результат:

- Какие еще результаты вытекают из опыта:
  - а) почему выходящий из канала пучок радиоактивного излучения разделился в магнитном поле на три составляющие?
  - б) что можно сказать об электрическом заряде частиц в составе этих составляющих пучка излучения, применив правило левой руки?



Французский физик Анри Беккерель открыл явление радиоактивности в 1896 году. Проводя исследования с солями урана, он обнаружил, что соли урана испускают невидимые глазом лучи, вызывающие почернение фотопластинок и ионизирующие воздух.

В 1898 году супруги Пьер и Мария Кюри обнаружили, что кроме урана сильной излучающей способностью обладает целый ряд других элементов (например, полоний, радий, торий). Такое излучение они назвали *радиоактивным*.

• *Явление самопроизвольного, без внешнего воздействия излучения атомного ядра называется **естественной радиоактивностью**, а возникающее излучение называется **радиоактивным излучением**.*

Проведенные многочисленные опыты показали, что *свойство радиоактивности связано только с составом и строением атомного ядра*. Внешние факторы (механическое давление, температура, электрическое и магнитное поля и другие) не оказывают воздействия на это свойство.



Анри Антуан Беккерель  
(1852–1908)  
Французский физик

- Открыл радиоактивность. За работы в этой области в 1903 году был удостоен Нобелевской премии.



Пьер Кюри  
(1859–1906)  
Французский физик

- Один из основоположников теории радиоактивности. За успехи в этой области в 1903 году был удостоен Нобелевской премии.



Мария Склодовская-Кюри  
(1867–1934)  
Французский физик польского происхождения

- Одна из основоположниц теории радиоактивности. Удостоена Нобелевских премий в 1903 году по физике за открытие радиоактивности, в 1911 году по химии за открытие химических элементов полония и радия.

В 1899 году под руководством английского ученого Эрнеста Резерфорда была исследована физическая природа радиоактивного излучения (*со схемой и ходом этого опыта вы были ознакомлены в исследовании; см.: Исследование-1*). Было выявлено, что радиоактивное излучение (распад) радия имеет сложную структуру: излучение представляет собой поток разных частиц. При прохождении этого потока заряженных частиц сквозь магнитное поле они отклоняются в разных направлениях под действием силы Лоренца. Часть лучей, состоящих из потока незаряженных частиц, не меняют направления своего первоначального движения, их называли *γ-излучением*. Часть лучей, состоящих из потока положительных

частиц, отклоняются от своего первоначального направления, в соответствии с правилом левой руки, в направлении большого пальца левой руки. Это излучение назвали  **$\alpha$ -излучением**. Состоящая же из потока отрицательных частиц третья часть лучей, названных  **$\beta$ -излучением**, отклоняются в направлении, противоположном направлению отклонения  $\alpha$ -излучения (см.: а).

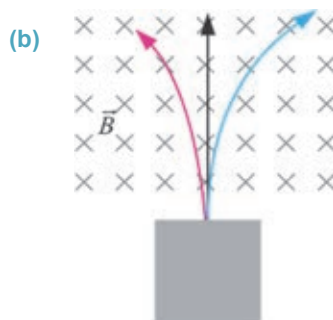
Было установлено, что  **$\alpha$ -излучение** состоит из потока ядер гелия. Их проникающая способность очень мала и даже лист бумаги толщиной 0,1 мм для них уже непроницаем.  **$\beta$ -излучение** – это поток электронов, имеющих очень большую скорость. Проникающая способность этих частиц больше – цинковая пластина толщиной всего в несколько миллиметров способна полностью поглотить  $\beta$ -излучение.  **$\gamma$ -излучение** – это электромагнитное излучение. Электрическое и магнитное поля на него не действуют, так как оно электрически нейтрально. Проникающая способность этого излучения очень велика: слой свинца толщиной в 1 см может лишь уменьшить его воздействие.

Проникающая способность этого излучения очень велика: слой свинца толщиной в 1 см, бетона в 5 см и стекла в 10 см может, уменьшает его воздействие в 2 раза, однако полностью его поглотить не может.

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** На рисунке представлен процесс распада элемента радия (b). Определите по направлению отклонения в магнитном поле  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения.



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Естественная радиоактивность...
2. Радиоактивное излучение...
3.  $\alpha$ -излучение...
4.  $\beta$ -излучение...
5.  $\gamma$ -излучение ...

#### Проверьте свои знания

1. Исследования каких ученых привели к открытию радиоактивности?
2. Чем отличается радиоактивный химический элемент от обычных элементов?
3. Из потока каких заряженных частиц состоит радиоактивное излучение?
4. В чем отличие  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения друг от друга?

## 4.2 Атом – сложная связанная система

Информацию о составе атомного ядра и строении атома вы получили в соответствующих разделах учебника по физике для 6-го класса и учебника по химии для 7-го класса.



- Какие частицы составляют связанную систему атома?
- Из каких частиц состоит атомное ядро?
- Почему атом обычно нейтрален?
- Что означает “планетарная модель атома”? Как эта модель была определена?

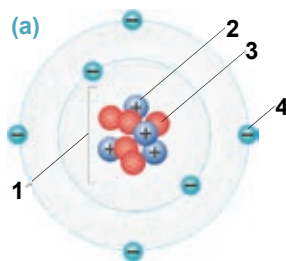
### Исследование 1

#### Какая это модель атома?

**Задача.** На рисунке представлена схема одной из моделей строения атома (а). Перечертите схему на рабочий листок и определите, какие частицы обозначены соответствующими цифрами.

#### Обсудите результат:

- Схема какой модели атома представлена на рисунке?
- Из каких частиц состоит связанная физическая система атома по схеме?

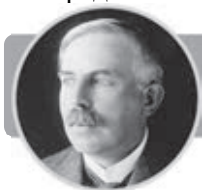


Джозеф Джон Томсон  
(1856–1940)  
Английский физик

- **Основные работы:** ионизация газов под действием рентгеновского облучения, обнаружение катодного и анодного излучения. В 1906 году был удостоен Нобелевской премии.



Атомная модель Томсона. Ученые с конца XIX века знали, что атом имеет электронейтральную структуру, состоящую из равного числа положительных и отрицательных частиц. Английский ученый Джозеф Джон Томсон в 1897 году открыл электрон и было определено, что масса электрона в 2000 раз меньше массы атома водорода. Основываясь, с одной стороны, на этот факт, а с другой стороны, на факт электронейтральности атома, Томсон в 1903 году предложил первую модель строения атома. *Согласно этой модели, атом представляет собой шар радиусом примерно  $10^{-10}$  м. Положительные заряды распределены по всей массе этого шара с постоянной плотностью, а отрицательно заряженные электроны распределены внутри подобно “изюминкам в пудинге”* (b). Атомная модель Томсона дала возможность объяснить некоторые явления, например, ионизацию атома, электролиз, периодическую систему химических элементов и другие. Однако эта модель не смогла объяснить радиоактивность, электромагнитные явления и другое.

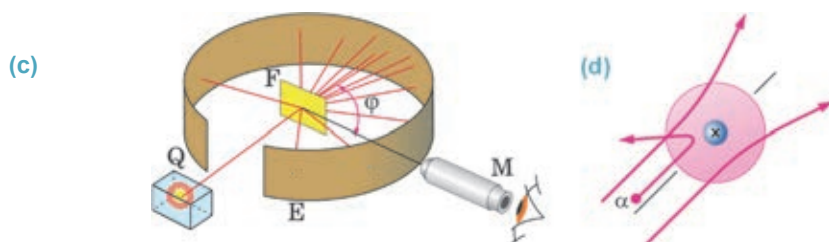


Эрнест Резерфорд  
(1871–1937)  
Английский физик

- Создатель планетарной модели атома. В 1908 году был удостоен Нобелевской премии.

**Атомная модель Резерфорда.** В 1910-1911 годах английский ученый Эрнест Резерфорд определил, что атом имеет совершенно другое строение. Он провел серию опытов *методом бомбардировки* атомов тяжелых химических элементов  $\alpha$ -частицами. Логично было бы ожидать, что большинство  $\alpha$ -частиц, сталкиваясь с атомами, в основном будут подвергаться рассеиванию. Потому что, по модели Томсона, весь объем атома состоит из равномерно распределенной массы положительного заряда.

Схема одного из опытов Резерфорда представлена на рисунке (с). Выходящий из свинцового контейнера (Q) узкий пучок  $\alpha$ -частиц направляется на поверхность золотой фольги (F). При столкновении отраженных и проходящих сквозь фольгу  $\alpha$ -частиц с поверхностью экрана (E), покрытого специальным веществом, происходят вспышки света (сцинтилляции). Эти вспышки наблюдают и регистрируют при помощи микроскопа (M) (см.: с). В ходе опыта наблюдалось неожиданное явление: основная часть падающих на атомы золота  $\alpha$ -частиц проходят сквозь фольгу, не меняя своего направления, а некоторые рассеиваются под определенным углом, и только в очень редких случаях (каждая из 2000 частиц) возвращаются обратно, отразившись от фольги на  $180^\circ$  (d).



По результатам этого опыта была определена неверность атомной модели Томсона. По Резерфорду, большая часть массы атома и положительные заряды распределены не по всему объему атома, а сосредоточены в его центре. Между электронами и положительными зарядами существует пустота. Очень маленькую часть атома, где сконцентрированы положительные заряды атома, Резерфорд назвал *атомным ядром*. Таким образом, согласно модели Резерфорда, атом имеет следующее строение:

- Почти вся масса атома, можно сказать, сконцентрирована в его ядре, размеры которого, по сравнению с размером самого атома, очень малы. В дальнейшем было определено, что диаметр ядра  $\approx 10^{-15}\text{м}$ .

- Атомное ядро имеет положительный заряд ( $q_N$ ), равный произведению элементарного заряда  $e$  на порядковый номер  $Z$  этого элемента в периодической системе элементов:  $q_N = Ze$ .

- Электроны движутся вокруг ядра по круговым орбитам. Число электронов в нейтральном атоме равно  $Z$ . Эта модель очень похожа на модель Солнечной системы, поэтому ее часто называют *планетарной моделью атома*.

Но эта модель атома столкнулась с трудностью при объяснении продолжительности его существования. Согласно классической физике, электрон, движущийся по круговой орбите, должен излучать энергию.

В этом случае электрон должен постепенно приближаться к ядру и, наконец, упасть на его поверхность – атом перестает существовать. В действительности же атомная система существует продолжительное время.

**Атомная модель Бора.** Выход из этого затруднительного положения, которое Резерфорд не смог объяснить, был предложен в 1913 г. датским физиком *Нильсом Бором*. Он в виде постулатов (в виде положений и аксиом, не требующих доказательств) сформулировал основные законы усовершенствованной теории строения атома.

**Первый постулат:** атомная система может находиться длительно только в особых стационарных – квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия. В стационарном состоянии атом не излучает и не поглощает электромагнитные волны.

**Второй постулат:** излучение происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией в стационарное состояние с меньшей энергией. И наоборот, при поглощении атомом энергии излучения он переходит из стационарного состояния с меньшей энергией в стационарное состояние с большей энергией. При этом электрон переходит с определенной близкой орбиты на дальнюю.



Нильс Хенрик Давид Бор  
(1885–1962)  
Датский физик

- Имеет большие заслуги в развитии теории атомного ядра и ядерных реакций. В 1922 году был удостоен Нобелевской премии.

## Творческое применение

### Исследование 2

**Задача.** Нарисуйте на рабочем листке схему планетарной модели атомов кислорода (8-й элемент) и хлора (17-й элемент). Определите электрический заряд их ядра и электронов в целом.

**Обсудите результат:**

- Сколько электронных орбит имеется у атомов кислорода и хлора, соответственно?
- Сколько кулонов составляют заряды ядер этих элементов, соответственно?

### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:**

1. Согласно модели Томсона, атом ... ;
2. Согласно модели Резерфорда, атом ... ;
3. Первый постулат Бора – ... ;
4. Второй постулат Бора – ... .

### Проверьте свои знания

1. Что было главным недостатком в атомной модели Томсона?
2. В чем заключаются основные положения атомной модели Резерфорда?
3. С какими трудностями столкнулась модель атома Резерфорда?
4. Изложите постулаты атомной модели Бора.

## 4.3

## ЛАЗЕР

Известно, что раскалённые тела излучают свет.



- Можете ли привести примеры такого излучения?
- Как происходит излучение света у раскалённых тел?

## Исследование

1

### Самопроизвольное излучение или вынужденное?

**Ресурсы:** фотографии разных источников света.

**Ход исследования:**

1. Исследуйте данные изображения и определите, на каких из них световое излучение происходит самопроизвольно, а на каких вынужденно.
2. Данную ниже таблицу перепишите в рабочий листок и заполните клетки соответственно проведенному исследованию.



Радуга



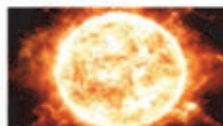
Свечение электрической лампы



Свет от свечи



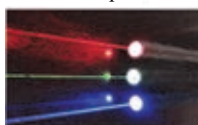
Свет от костра



Солнечное излучение



Горение бытового газа



Лазерное излучение



Полярное сияние



Свечение экрана телевизора

| Самопроизвольное излучение света | Вынужденное излучение света |
|----------------------------------|-----------------------------|
|                                  |                             |

**Обсудите результат:** • По какому признаку определяется самопроизвольное и вынужденное излучение света? Почему?

**Спонтанное излучение.** Явление излучения света сильно нагретым телом (раскалённого) теория Бора объясняет так. При нагревании тела электроны, составляющие его атомы, получают дополнительную энергию, и за счет этой энергии электроны атома переходят на дальнюю орбиту. Такое состояние атома называется “возбужденным”. Но атом не может длительное время находиться в возбужденном состоянии, излучая полученную дополнительную энергию, он возвращается в свое устойчивое состояние. Переход атома в возбужденное состояние при нагревании и его самопроизвольное излучение называется *спонтанным излучением*. Спонтанное излучение беспорядочное: излучение света происходит в разных направлениях с разными частотами. Поэтому такое излучение бывает слабым. Излучения электрической лампы, свечи, радуги, костра, Солнца, северного сияния и др. происходят спонтанно.

**Вынужденное излучение.** В 1919 году физик США А.Эйнштейн выдвинул идею об излучении видимого света атомом, возбужденным под действием падающего на него света.

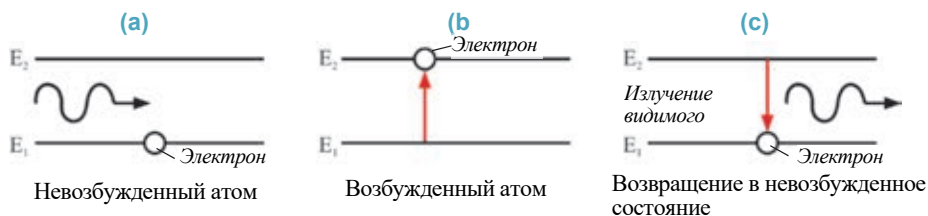
• Переход атома с высокого энергетического состояния в низкое под внешним воздействием, а не спонтанно, называется **вынужденным излучением**.

В 1954 году русские физики Н.Басов и А.Прохоров, а также американский ученый Дж.Таунс изготовили с целью усиления электромагнитных волн первый генератор, основанный на принципе работы вынужденного излучения.

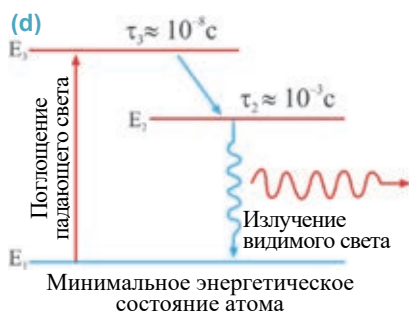
А в 1960 году американский ученый Т.Мейман в результате вынужденного излучения получил упорядоченное и регулируемое световое излучение очень большой частоты и энергии – **лазер**.

• Слово **лазер** образовано сочетанием первых букв слов английского выражения **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation**, что означает “усиление света при помощи индуцированного излучения”.

**Принцип работы лазера.** При обычных условиях атом находится в минимальном, то есть невозбужденном энергетическом состоянии. Такой атом сам по себе энергию не излучает: электрон находится на стационарной орбите (а). При облучении атома происходит поглощение энергии излучения. Атом возбуждается и переходит в более высокое энергетическое состояние: электрон переходит на вторую орбиту (b). Однако атом в возбужденном состоянии остается очень недолго ( $10^{-3}$ с) и немедленно, излучая видимый свет, возвращается в минимальное энергетическое состояние (c).



Для усиления видимого света, излучаемого атомом, необходимо увеличить число возбужденных атомов. С этой целью система сначала переводится с нижнего энергетического уровня на 3-й энергетический уровень, а с этого уровня атом самопроизвольно переходит на 2-й уровень. При этом переход выделявшаяся энергия поглощается кристаллической решеткой, и излучение не происходит. Затем на систему воздействуют внешним лучом света. Возбужденные атомы со 2-го энергетического уровня, излучая видимый свет, возвращаются на 1-й энергетический уровень (d).



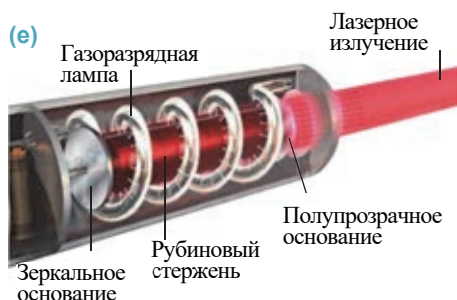
Этот метод трехуровневого вынужденного излучения лазера был осуществлен в **кристалле рубина**.

Этот метод трехуровневого вынужденного излучения лазера был осуществлен в **кристалле рубина**.

**Структура и принцип работы рубинового лазера.** Из рубинового кристалла изготавливается стержень с плоскопараллельными ос-

нованиями. Одно из оснований представляет полностью отражающее лучи зеркало, а другое относительно прозрачную плоскость. Стержень помещается внутри спиралеобразной газовой лампы (она называется и **импульсной лампой**), испускающей сине-зеленый свет. Через некоторое время после включения лампы возбужденные атомы кристалла заполняют 2-й энергетический уровень. Отсюда атомы, спонтанно излучая видимый свет в разных направлениях, переходят на 1-й энергетический уровень. Это излучение, распространяющееся по рубиновому кристаллу, подвергается полному внутреннему

отражению от его внутренних стенок, концентрируется и усиливается вдоль направления распространения. В результате из полупрозрачного основания кристалла выходит мощный лазерный луч красного цвета (е).

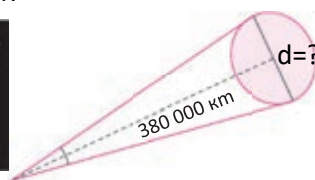


### Творческое применение

#### Исследование 2

**Какого диаметра получается светлое пятно?**

**Задача.** С поверхности Земли на поверхность Луны направлен очень мощный узкий луч лазера. Угол рассеивания луча  $\alpha = 10^{-5}$  рад, расстояние от поверхности Земли до поверхности Луны равно 380 000 км (d). Какого диаметра светлое пятно создает лазер на поверхности Луны?



$$\alpha = 10^{-5} \text{ рад}$$

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \operatorname{tg} \frac{10^{-5} \text{ рад}}{2} \approx 5 \cdot 10^{-6}$$

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:** 1. Спонтанное излучение – ... ; 2. Вынужденное излучение – ... ; 3. Лазерное излучение – ... ; 4. Для получения лазерного излучения в рубиновом кристалле ...

#### Проверьте свои знания

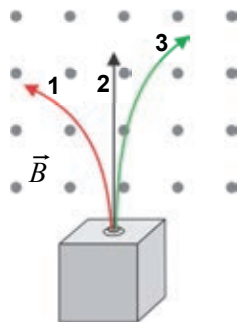
1. Чем отличается лазерное излучение от обычного света?
2. Как получается лазерное излучение?
3. Объясните структуру и принцип работы рубинового лазера.

#### Проект

Подготовьте компьютерную презентацию на тему: “Применение лазеров”.

**Упражнение****4.1**

1. На рисунке представлена схема распада радиоактивного вещества в однородном магнитном поле. Определите направление отклонения  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений.



2. Что такое  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучения?

- А)  $\alpha$ -излучение – электромагнитная волна  
 $\beta$ -излучение – поток электронов  
 $\gamma$ -излучение – поток ядер гелия
- В)  $\alpha$ -излучение – поток электронов  
 $\beta$ -излучение – поток ядер гелия  
 $\gamma$ -излучение – электромагнитная волна
- С)  $\alpha$ -излучение – электромагнитная волна  
 $\beta$ -излучение – поток ядер гелия  
 $\gamma$ -излучение – поток электронов
- Д)  $\alpha$ -излучение – поток ядер гелия  
 $\beta$ -излучение – поток электронов  
 $\gamma$ -излучение – электромагнитная волна
- Е)  $\alpha$ -излучение – поток ядер гелия  
 $\beta$ -излучение – электромагнитная волна  
 $\gamma$ -излучение – поток электронов

3. Открытие радиоактивности позволило выдвинуть такую гипотезу:

- 1 – атом связанная система, имеющая сложную структуру;
- 2 – один химический элемент может быть преобразован в другой элемент;
- 3 – положительные заряды распределены равномерно по всему объему атома, электроны же распределены равномерно по объему подобно “изюминкам в пудинге”.

А) 1 и 2    В) только 3    С) только 1    Д) только 2    Е) 1 и 3

4. На чем основывается планетарная модель атома?

- А) на опыте по отклонению  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений в магнитном поле;
- В) на фотографировании фотоаппаратом снимков атома и молекул;
- С) на опыте по отклонению  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучений в электрическом поле;
- Д) на расчете механического движения тел Солнечной системы;
- Е) на опыте по рассеиванию  $\alpha$ -частиц.

5. Выстройте в ряд символы химических элементов U, Ge, Ca, Sb, Al, Cu, Au, Si в порядке возрастания числа электронов в атомах.

## 4.4 Атомное ядро – связанная система. Массовое и зарядовое числа ядра

Химический элемент с атомным номером 37 имеет 14 нейтронов.



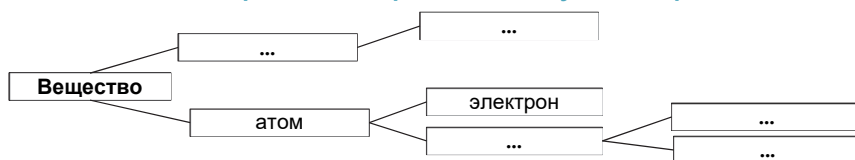
- Каково массовое число и зарядовое число этого элемента?

### Исследование 1

**Определите скрытые слова.**

**Ход исследования:** на рисунке представлена схема связанной физической системы, состоящей из частиц. Перепишите схему в рабочий листок, написав вместо точек ключевые слова, заполните ее.

**Ключевые слова:** •ядро • атом • протон • молекула• нейтрон•

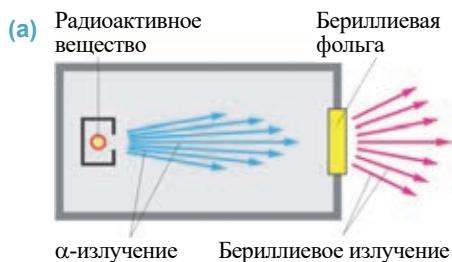


**Обсудите результат:**

- Из каких частиц состоит связанная система атома?
- Является ли атомное ядро физической системой? Почему?

Э.Резерфорд и его ученики открыли частицы, из которых состоит атомное ядро, в результате проведенных экспериментов по взаимодействию  $\alpha$ -частицы с атомами разных химических элементов.

**Открытие протона.** В 1919 году при бомбардировке Резерфордом атомов азота  $\alpha$ -частицами произошел распад ядер этих атомов. Было выявлено, что в результате взаимодействия атомов ядра распались на две частицы – атом кислорода и ядро водорода. В дальнейшем во всех проведенных экспериментах по взаимодействию  $\alpha$ -частиц с атомами химических элементов *бор, фтор, литий, натрий* и другие было выявлено, что при распаде ядра возникает ядро водорода. Таким образом, было определено, что частица, являющаяся ядром водорода, является составной частью всех ядер химических элементов. Эта частица была названа *протоном* (по-гречески *protos* означает “первичный”). Она обозначается буквой **p** и имеет положительный электрический заряд, равный по модулю электрическому заряду электрона. Масса протона, равная  $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг, в 1836 раз больше массы электрона. Однако ядро не может состоять только из протонов, если бы это было так, то масса ядра была бы равна  $m_N = Z \cdot m_p$  ( $Z$  – номер элемента в периодической системе: число протонов). На самом деле масса ядра больше во много раз, значит, в ядре должна присутствовать еще одна частица с массой, большей массы протона и электронейтральная.



**Открытие нейтрона.** В 1932 году при изучении взаимодействия  $\alpha$ -частиц с атомом элемента бериллия было открыто новое излучение (а).

Это излучение, названное *бериллиевым излучением*, обладает большой энергией и проникающей способностью, не вступает во взаимодействие с электрическим и магнитным полями. По этому свойству *бериллиевого излучения* английский физик Джеймс Чедвик определил, что оно состоит из потока электронейтральных частиц. Таким образом, была открыта новая частица в составе ядра – **нейтрон** (то есть электронейтральный). Нейтрон обозначается буквой **n**.

Масса нейтрона приблизительно равна массе протона:  $m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

**Массовое и зарядовое число ядра.** Сразу же после того, как был открыт нейтрон, русский ученый *Дмитрий Иваненко* и немецкий ученый *Вернер Гейзенберг* в 1932 году предложили *протонно-нейтронную модель ядра*. Согласно этой модели:

- **Атомное ядро** – это устойчивая связанная система, состоящая из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны, образующие ядро, называются **нуклонами**. Нуклон от латинского слова *nucleons* означает “частица, принадлежащая ядру”.

Что обеспечивает устойчивость ядра? Как могут оставаться в устойчивом состоянии одноименные заряженные частицы ядра?

Гейзенберг объяснил это существованием между нуклонами мощных *ядерных сил* неэлектрической природы.

- **Ядерными силами** называются силы, удерживающие частицы (протоны и нейтроны) в ядре.

Ядерные силы, не имея электрической природы, характеризуются близким действием. То есть радиус действия ядерных сил соизмерим с размерами самого атома:  $\approx 10^{-15} \text{ м}$ . Ядерные силы, действующие между двумя нуклонами в ядре, в тысячи раз превосходят по величине силу Кулона, действующую на этом расстоянии между двумя одноименно заряженными протонами.

- **Массовое число ядра равно общему числу нуклонов в ядре. Оно обозначается буквой **A**. Массовое число ( $A$ ) = число протонов ( $Z$ ) + число нейтронов ( $N$ ):**

$$A = Z + N.$$

С помощью этого выражения с легкостью можно определить число нейтронов в ядре произвольного элемента:

$$N = A - Z.$$

Массовое число пишется в верхнем индексе химического элемента.

- **Зарядовое число ядра равно числу протонов в ядре. Оно обозначается буквой **Z** и пишется в нижнем индексе химического элемента.**

Таким образом, любой химический элемент может выражаться в виде  ${}^A_ZX$ , где  $X$  – символ химического элемента. Например, если для ядра кислорода массовое число  $A = 16$ , а зарядовое число  $Z = 8$ , то можно записать:  ${}^{16}_8O$ . Так как массовое

число протона равно 1 атомной единице массы ( $1 \text{ а.е.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ), а зарядовое число равно 1 элементарному заряду, то протон обозначается символом  ${}^1_1p$ . Нейтрон же обозначается символом  ${}^1_0n$ : его массовое число равно 1 а.е.м., а зарядовое число нулю.

### Творческое применение

#### Исследование

2

**“Чтение” символов химических элементов.**

**Задача.** Определите соответствующие характеристики двух химических элементов по их символам:

| ${}^{56}_{26}\text{Fe}$                                                              | ${}^{10}_4\text{Be}$                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| • Число протонов – ...                                                               | • Число протонов – ...                                                               |
| • Число нейтронов – ...                                                              | • Число нейтронов – ...                                                              |
| • Число электронов – ...                                                             | • Число электронов – ...                                                             |
| • Масса ядра: $q_{\text{Fe}} = Z_{\text{Fe}} \cdot 1,66 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} =$ | • Масса ядра: $q_{\text{Be}} = Z_{\text{Be}} \cdot 1,66 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} =$ |
| • Массовое число – ...                                                               | • Массовое число – ...                                                               |

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

- Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их: 1. Атомное ядро – ... ; 2. Нуклон – ... ; 3. Массовое число ядра – ... ; 4. Зарядовое число ядра – ...

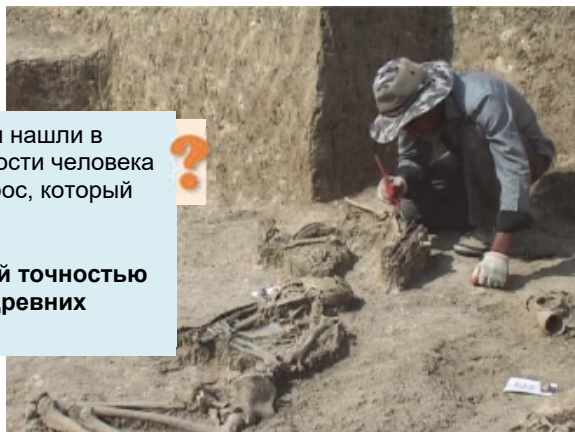
#### Проверьте свои знания

1. Какую частицу называют протоном?
2. Почему вторая частица ядра называется нейтрон?
3. Как можно определить в ядре число нейтронов химического элемента?
4. Почему действующие между положительно заряженными протонами силы кулоновского отталкивания не разрушают ядра, удаляя их друг от друга?

## 4.5 Изотопы

Когда вы слышите, что археологи нашли в древнем захоронении в Габале кости человека возрастом 5000 лет, первый вопрос, который возникает:

- Интересно, как ученые с такой точностью смогли определить возраст древних находок?



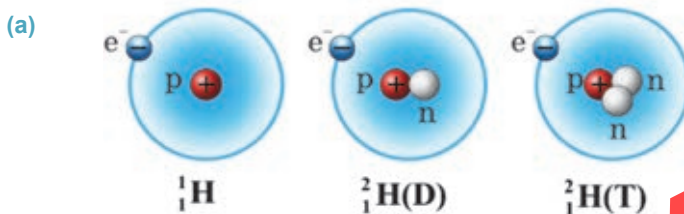
### Изотопы

• **Изотопы** – атомы, имеющие одинаковое количество протонов, однако отличающиеся по массовому числу.

Изотопы, определяемые по массовому числу, в Периодической таблице химических элементов помещаются в одну клетку и обладают одинаковыми химическими свойствами. В природе может существовать два и более изотопов одного и того же химического элемента.

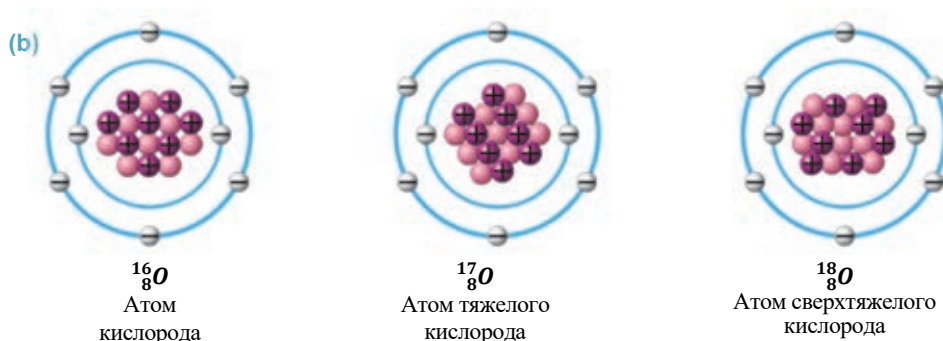
Изотопы отличаются друг от друга только числом нейтронов в ядре. Так как нейтроны не оказывают никакого воздействия на химические свойства элемента, то все изотопы данного элемента имеют одинаковые химические свойства. Например, у водорода существует три изотопа. Изотоп  ${}^1_1\text{H}$  (**протий-Н**) состоит только из 1 протона. В его ядре нейтрона нет. Изотоп  ${}^2_1\text{H}$  (**дейтерий-Д**) состоит из 1 протона и 1 нейтрона.

Изотоп  ${}^3_1\text{H}$  (**тритий-Т**) состоит из 1 протона и 2 нейтронов (а). Но изотопы, имеющие разное число нейтронов в ядре, обладают разными физическими свойствами. Например, тяжелая вода (соединение дейтерия с кислородом  $\text{D}_2\text{O}$ ) отличается от обычной воды. Так, тяжелая вода при нормальном атмосферном давлении кипит при температуре 101,2 °С, а замерзает при температуре 3,8 °С.



• Атомы с одинаковым числом протонов в ядре, но с разными массовыми числами называются **изотопами** (по гречески izos – “одинаковый”, topos – “место”).

Все химические элементы имеют изотопы. Например, кислород в природе состоит из смеси трех изотопов:  $^{16}_8\text{O}$ ,  $^{17}_8\text{O}$ ,  $^{18}_8\text{O}$  (b). В природе наиболее распространен изотоп  $^{16}_8\text{O}$  – 99,8%.

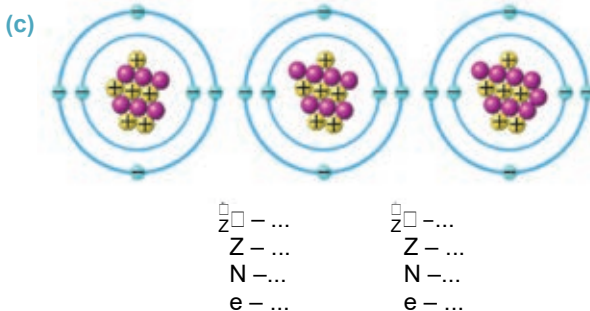


Обычно изотопы называют по их массовым числам, например, изотопы урана: уран-235, уран-238, уран-239 и др.

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** На рисунке представлены схемы планетарных моделей трех изотопов (c). Перечертите схемы в рабочий листок и вместо точек отметьте, соответственно, символ изотопа, число протонов, нейтронов и электронов в нем.



#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

• Напишите короткое эссе в рабочем листке, используя данные ключевые слова: •Изотоп • Атом • Массовое число • Зарядовое число • Наука и техника • Производство•

#### Проверьте свои знания

1. Что такое изотоп?
2. Почему изотопы одного и того же элемента не отличаются по химическим свойствам друг от друга?
3. В каких целях используются радиоактивные изотопы?
4. Чем отличаются друг от друга ядра изотопов урана  $^{235}_{92}\text{U}$  и  $^{239}_{92}\text{U}$ ?

## 4.6

**ПРИМЕНЕНИЕ ИЗОТОПОВ (УРОК-ПРЕЗЕНТАЦИЯ)**

Подготовьте презентацию на тему “Применение изотопов”. При подготовке презентации можно воспользоваться данным планом.

**План подготовки презентации:** при подготовке презентации можете использовать одну из программ *Microsoft Office PowerPoint*, *ActivInspire*, электронные доски *Promethean* или *MimioStudio*.

Используйте в презентации нижеприведенные ключевые слова и ключевые предложения:

- изотоп
- периодическая система элементов
- области науки
- устойчивый
- изотопы углерода
- археологические исследования
- изотопные индикаторы
- массовое число
- число протонов
- область сельского хозяйства
- воздействует на ход химической реакции
- изотопы урана
- применение в медицине
- изотопы серы
- число нейтронов
- естественные изотопы
- производство
- изотопы водорода
- изотопы кислорода
- превращения в живых клетках
- получение веществ с заранее определенными свойствами
- число электронов
- радиоактивные изотопы
- меченый атом
- изотопы бериллия
- изотопы азота
- ткани организма
- углеводные соединения

|                |                                                                                                                             |
|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Применение изотопов</b></li> <li>• Подготовил (класс, имя и фамилия)</li> </ul> |
| <b>2 слайд</b> | Применение изотопов в сельском хозяйстве                                                                                    |
| <b>3 слайд</b> | Применение изотопов в медицине                                                                                              |
| <b>4 слайд</b> | Применение изотопов в химии                                                                                                 |
| <b>5 слайд</b> | Применение изотопов в биологии                                                                                              |
| <b>6 слайд</b> | Применение изотопов в археологии                                                                                            |

**Упражнение 4.2**

- Определите число электронов, протонов и нейтронов в данных изотопах атома:  $^{209}_{82}\text{Pb}$ ,  $^{239}_{92}\text{U}$ ,  $^{18}_8\text{O}$ .
- Ядро какого химического элемента состоит из 20 протонов и 20 нейтронов?
- Чем отличаются друг от друга изотопы плутония  $^{244}_{94}\text{Pu}$ ,  $^{247}_{94}\text{Pu}$ ?
- Массовое число аргона равно 40. Сколько протонов и нейтронов в его ядре?
- Каков электрический заряд ядра изотопа  $^{210}_{82}\text{Pb}$ ?

## 4.7 РАДИОАКТИВНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ АТОМНЫХ ЯДЕР: $\alpha$ -, $\beta$ - И $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ. ПРАВИЛО РАДИОАКТИВНОГО СМЕЩЕНИЯ

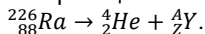
При исследовании учеными природы и механизма радиоактивного излучения стало известно, что в результате излучения радиоактивный элемент испытывает серьезные изменения. А после открытия строения ядра стало известно, что радиоактивное излучение элемента приводит к изменению состава ядра.

- Какое радиоактивное излучение химического элемента приводит к изменению его ядра:  $\alpha$ -излучение,  $\beta$ -излучение или  $\gamma$ -излучение?
- Каков итог изменения в атомном ядре элемента?

### Исследование 1

**Выполняется закон сохранения массового и зарядового числа ядра!**

**Задача.** В 1903 году английский ученый Резерфорд определил, что элемент радий-226, самопроизвольно (спонтанно) излучая  $\alpha$ -частицу ( ${}^4_2\text{He}$ ), превращается в другой химический элемент. Данная реакция записывается в следующем виде:



Определите массовое и зарядовое число для полученного элемента Y, используя таблицу и Периодическую систему химических элементов.

**Обсудите результат:**

- В какое ядро превращается ядро радиоактивного радия-226 при спонтанном излучении  $\alpha$ -частицы ( ${}^4_2\text{He}$ )?
- Чем отличается массовое и зарядовое число этого ядра от массового и зарядового числа ядра радия-226?
- Какая закономерность наблюдается при радиоактивной ядерной реакции?

На основании результатов, полученных по итогам опытов, проведенных Пьером и Марией Кюри, Эрнестом Резерфордом и английским химиком Фредериком Содди, были открыты необычные свойства радиоактивных химических элементов, которые приведены ниже:

1. Химические элементы, подверженные  $\alpha$ - или  $\beta$ -излучению, превращаются в другие химические элементы, при этом сохраняются зарядовое и массовое числа. *Во время радиоактивного превращения сумма массового и зарядового числа полученных ядер равна сумме массового и зарядового числа первоначальных ядер.*

2. Превращение радиоактивных химических элементов сопровождается выделением энергии. Выделение энергии может продолжаться беспрерывно годами.

3. На ход радиоактивных превращений не оказывают никакого влияния внешние воздействия (изменение температуры и давления, химические реакции, электрические и магнитные поля и др.).

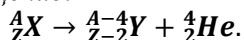
4. Радиоактивные превращения происходят *самопроизвольно – спонтанно*.

• Самопроизвольное превращение одного радиоактивного ядра в другое ядро называется **радиоактивным превращением**.

Существуют два вида радиоактивного превращения: *радиоактивное  $\alpha$ -превращение и радиоактивное  $\beta$ -превращение*.

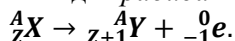
**Внимание!** В ядре электронов нет. Они возникают во время радиоактивного превращения  $\beta$ -излучения ядра.

**Правило радиоактивного смещения.** При радиоактивном  $\alpha$ -превращении ядро X, излучая  $\alpha$ -частицу ( ${}^4_2\text{He}$ ), превращается в новое ядро Y, то есть происходит радиоактивное смещение:



Как видно, при  $\alpha$ -превращении зарядовое число ядра уменьшается на 2 единицы, а массовое число на 4 единицы. В результате элемент смещается на две клетки к началу периодической системы.

При радиоактивном  $\beta$ -превращении ядро X, излучая  $\beta$ -частицу ( ${}^0_{-1}\text{e}$ ), превращается в новое ядро Y – происходит радиоактивное смещение:



Как видно, при  $\beta$ -превращении зарядовое число ядра увеличивается на 1 единицу, а массовое число не меняется. В результате элемент смещается на одну клетку ближе к концу периодической системы.

При  $\gamma$ -излучении не меняется ни массовое число, ни зарядовое – радиоактивное смещение не происходит.

• Для всех ядерных реакций выполняется закон сохранения абсолютного значения массового и зарядового чисел.

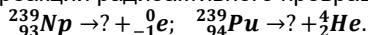
### Творческое применение

#### Исследование

2

**В какое ядро превратится?**

**Задача.** Определите неизвестное ядро, полученное при реакции радиоактивного превращения:



ЧТО ВЫ  
УЗНАЛИ

**Перепишите незаконченные предложения в рабочий листок и дополните их:** 1. Радиоактивный распад – ...; 2. Спонтанное излучение – ...; 3. При радиоактивном  $\alpha$ -распаде – ...; 4. При радиоактивном  $\beta$ -распаде – ...; 5. При радиоактивном  $\gamma$ -превращении – ...

### Проверьте свои знания

1. Почему радиоактивное излучение вызывает изменения в ядре элемента?
2. В чем заключается необычность свойств радиоактивных химических элементов?
3. Какое превращение происходит при  $\alpha$ -излучении?
4. Какое радиоактивное смещение возникает при  $\beta$ -превращении?
5. Почему при  $\gamma$ -излучении радиоактивное смещение не возникает?

#### Упражнение

4.3

1. При естественном радиоактивном превращении ядро  ${}^{208}_{84}\text{Po}$  излучило  $\alpha$ -частицу. В ядро какого элемента при этом превратилось ядро полония? Запишите реакцию.
2. В результате радиоактивного излучения ядро  ${}^{230}_{90}\text{Th}$  превращается в ядро  ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ . Какую частицу излучает ядро тория? Запишите реакцию.
3. Какой получится изотоп при последовательном излучении радиоактивным изотопом  ${}^{133}_{51}\text{Sb}$  четырех  $\beta$ -частиц? Запишите реакцию.
4. Какой получится изотоп при последовательном излучении радиоактивным изотопом  ${}^{234}_{90}\text{Th}$  трех  $\alpha$ -частиц? Запишите реакцию.
5. Какие из пар химических элементов являются изотопами?  
А)  ${}^1_1\text{H}$  и  ${}^4_2\text{He}$  Б)  ${}^{244}_{94}\text{Pu}$  и  ${}^{247}_{94}\text{Pu}$  В)  ${}^3_1\text{H}$  и  ${}^4_2\text{He}$  Д)  ${}^{231}_{91}\text{Pa}$  и  ${}^{264}_{106}\text{Rf}$  Е)  ${}^{209}_{84}\text{Po}$  и  ${}^2_1\text{H}$

## 4.8 ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Мы выяснили, что радиоактивные изотопы ядра подвержены спонтанному распаду.



- Можно ли определить заранее скорость уменьшения числа ядер, не испытывавших радиоактивного распада?

### Исследование 1

**Смоделируем радиоактивное превращение ядер.**

**Оборудование:** 100 бумажных квадратов (размерами  $1 \times 1$  см), окрашенных с одной стороны – это будут “радиоактивные изотопы ядер”, стакан.

**Ход исследования:** 1. Поместив квадратики (“ядра”) в стакан, несколько раз интенсивно встряхните его, а затем содержимое высыпьте на поверхность стола. 2. Подсчитайте число квадратов, выпавших к вам цветной стороной, занесите его в таблицу 4.1 и заново насыпьте их в стакан – это будут “ядра, не испытывавшие радиоактивного превращения”. Другие же квадраты отложите в сторону – это будут “ядра, испытывавшие превращение”. 3. Интенсивно встряхнув стакан, высыпьте квадраты на поверхность стола, снова подсчитайте число квадратов, выпавших к вам цветной стороной, и отметьте в таблице. Таким образом, продолжайте опыт до тех пор, пока у вас не останется цветных квадратов. 4. Занесите в таблицу все полученные результаты опыта и постройте график зависимости числа выпадающих из стакана цветных квадратов от номера этапа опыта.



Таблица 4.1.

| Номер опыта (n)                                                                              | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | ... |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Число цветных квадратов, выпавших из стакана – число “ядер, не испытывавших превращения” (N) | 100 | ... | ... | ... | ... | ... | ... |

### Обсуждение результатов:

- Сколько квадратов из общего количества выпавших из стакана на каждом этапе опыта оказались цветными – сколько “ядер не испытали радиоактивного превращения” на каждом этапе?
- Как менялось число “ядер, не испытывавших радиоактивного превращения” на каждом этапе опыта? Наблюдается ли определенная закономерность в этих изменениях?

Скорость радиоактивного распада произвольного изотопа не зависит от массы вещества, то есть от числа ядер. Для каждого радиоактивного изотопа имеется определенное время, за которое половина его ядер распадается.

• *Промежуток времени, в течение которого половина радиоактивных ядер распадается, называется **периодом полураспада**.*

Период полураспада обозначается буквой **T**, единица его измерения в системе СИ – **секунда**.

Предположим, что в начальный момент ( $t_0 = 0$ ) изотоп имеет  $N_0$  ядер. Через промежуток времени, равный периоду полураспада ( $t_1 = T$ ), число не распавшихся изотопов радиоактивных ядер будет  $N_1 = \frac{N_0}{2}$ . Через промежуток времени, равный двум периодам полураспада ( $t_2 = 2T$ ), число нераспавшихся в изотопе ядер станет  $N_2 = \frac{N_1}{2} = \frac{N_0}{4}$ , а через промежуток времени ( $t_3 = 3T$ ) число нераспавшихся ядер

в изотопе будет  $N_3 = \frac{N_2}{2} = \frac{N_0}{8}$  и так далее. Таким образом, через промежуток времени, равный  $t_n = nT$ , число нераспавшихся в изотопе ядер будет выражаться законом радиоактивного распада:

$$N = \frac{N_0}{2^n} = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

Закон радиоактивного распада был открыт в 1902 году Э.Резерфордом и Ф.Содди. Этот закон дает возможность определить число нераспавшихся радиоактивных ядер в произвольный момент времени.

Для каждого радиоактивного изотопа имеется свой период полураспада, например, период полураспада для изотопа урана-238 равен 4,5 миллиарда лет, а для радия-226 – 1600 лет.

### Творческое применение

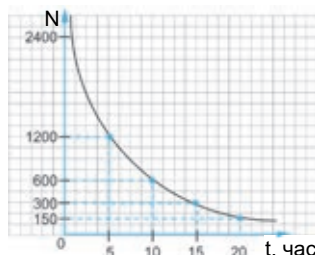
#### Исследование 2

##### Графическое описание закона радиоактивного распада.

Решите задачу в соответствии с приведенным образцом.

**Образец.** В момент времени  $t_0 = 0$  число ядер радиоактивного изотопа составляло 2400. Период полураспада изотопа  $T = 5$  часов. Сколько нераспавшихся ядер останется в изотопе через 20 часов? Постройте график зависимости числа нераспавшихся ядер радиоактивного изотопа от времени.

| Время (t)             | Число нераспавшихся ядер (N)                   |
|-----------------------|------------------------------------------------|
| $t_0 = 0$             | $N_0 = 2400$                                   |
| $t_1 = T = 5$ часов   | $N_1 = \frac{N_0}{2} = \frac{2400}{2} = 1200$  |
| $t_2 = 2T = 10$ часов | $N_2 = \frac{N_0}{4} = \frac{2400}{4} = 600$   |
| $t_3 = 3T = 15$ часов | $N_3 = \frac{N_0}{8} = \frac{2400}{8} = 300$   |
| $t_4 = 4T = 20$ часов | $N_4 = \frac{N_0}{16} = \frac{2400}{16} = 150$ |



**Задача.** В момент времени  $t_0 = 0$  число ядер радиоактивного изотопа равнялось 2000. Период полураспада изотопа  $T = 10$  суток. Сколько нераспавшихся ядер останется в изотопе через 50 суток? Постройте график зависимости числа нераспавшихся ядер радиоактивного изотопа от времени.

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

Перепишите незаконченные предложения в рабочий листок и дополните их: 1. Период полураспада – ...; 2. Закон радиоактивного распада – ...

Проверьте свои знания

1. Что выражает период полураспада?
2. В чем состоит смысл закона радиоактивного распада?
3. Можно ли заранее определить время радиоактивного распада всех ядер радиоактивного изотопа? Ответ обоснуйте.

## 4.9 НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ В АТОМНО-ЯДЕРНЫХ ЯВЛЕНИЯХ И ИХ ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ

При изучении механических, тепловых и электрических явлений вы ознакомились с характеризующими их основными физическими величинами и единицами измерения этих величин в СИ. Исследователи изучали взаимосвязь этих единиц, поставили и решили разные задачи.



- Каковы единицы измерения в СИ расстояния, массы и энергии в механике?
- Какими единицами измерения удобно выразить основные физические величины в атомно-ядерных явлениях, например, расстояние, массу и энергию?

### Исследование

1

Сколько единиц атомной массы содержится в 1 кг?

**Задача.** Постоянное число Авогадро  $N_A = 6,0221367 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$ .

Зная, что  $1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{N_A} \frac{\text{кг}}{\text{кмоль}}$ :

- выразите 1 а.е.м. в килограммах;
- вычислите, скольким единицам атомной массы равен 1 кг?

**Обсудите результат:**

- Как определяется энергия внутриатомной системы частиц и в каких единицах она выражается?

**Длина в атомно-ядерных явлениях.** Так как в атомно-ядерных явлениях речь идет об очень маленьких расстояниях, то за единицу длины принят *фемтометр* или *ферми* (в честь американского физика Энрико Ферми, имеющего большие заслуги в развитии современной физики):  $1 \text{ фм} = 10^{-15} \text{ м}$ .

**Энергия в атомно-ядерных явлениях.** В 1905 году Альберт Эйнштейн пришел к выводу, что *масса системы частиц пропорциональна ее энергии (внутренней энергии)*:

$$E = mc^2.$$

Здесь  $m$  – масса системы частиц,  $E$  – энергия системы,  $c$  – скорость света в вакууме. Как видно из формулы, *при изменении внутренней энергии системы на  $\Delta E$  масса системы также изменится на  $\Delta m$* :

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2} \rightarrow \Delta E = \Delta mc^2.$$

В атомно-ядерных явлениях в качестве единицы измерения энергии используют *электронвольт (эВ), килоэлектронвольт (кэВ) и мегаэлектронвольт (МэВ)*.

• *Электронвольт равен кинетической энергии, полученной электроном в процессе ускорения между двумя точками с напряжением 1В:*

$$[эВ] = 1 \text{ эВ} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6022 \cdot 10^{-19} \text{ Дж},$$

$$1 \text{ кэВ} = 10^3 \text{ эВ} = 1,6022 \cdot 10^{-16} \text{ Дж},$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6022 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}.$$

Отсюда получается:

$$1 \text{ Дж} = \frac{1}{1,6022 \cdot 10^{-13}} \text{ МэВ} = 6,2414 \cdot 10^{12} \text{ МэВ}.$$



Альберт Эйнштейн  
(1879–1955)  
Американский ученый  
немецкого происхождения

- Он сыграл важную роль в развитии физической науки, и был удостоен Нобелевской премии по физике в 1921 году.

## Творческое применение

### Исследование

2

#### В какой мере изменилась энергия системы частиц?

**Образец.** Масса системы частиц изменилась на 1 атомную единицу массы:

$$\Delta m = 1 \text{ а.е.м.}$$

Вычислите, на сколько МэВ изменилась внутренняя энергия этой системы (вычисления проведите с точностью до 0,0001)?

| Дано                                                                                                                                                                                                                             | Решение                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|
| $\Delta m = 1 \text{ а.е.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг,}$<br>$c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}},$<br>$\Delta E \rightarrow ?$                                                                              | $\Delta E = \Delta mc^2$ |
| Вычисление                                                                                                                                                                                                                       |                          |
| $\Delta E = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 2,9979^2 \cdot 10^{16} \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} = 14,9235 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 4,9235 \cdot 10^{-11} \cdot 6,2414 \cdot 10^{12} \text{ МэВ} = 931,5 \text{ МэВ.}$ |                          |
| <b>Ответ.</b> При изменении массы системы частиц на 1 а.е.м. ее внутренняя энергия изменяется на 931,5 МэВ.                                                                                                                      |                          |

**Задача.** На сколько изменится внутренняя энергия системы частиц, если ее масса изменится на 4 атомные единицы массы (вычисления проведите с точностью до 0,0001)?

### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



#### • Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:

1. Фемтометр или ферми – ...;
2. Связь между массой системы частиц и ее энергией – ...;
3. Электронвольт – ...

### Проверьте свои знания

1. О каких единицах расстояния идет речь в атомно-ядерных явлениях и в каких единицах выражаются эти расстояния?
2. В каких единицах выражается масса в атомно-ядерных явлениях?
3. В каких единицах выражается энергия в атомно-ядерных явлениях?
4. Сколько мегаэлектронвольт в одном джоуле?
5. Можно ли будет вычислить изменение энергии ядра, если будет известно изменение массового числа ядра в процессе радиоактивного распада? Ответ обоснуйте.

LAYIH

### Упражнение 4.4

1. Масса электрона равна  $9,11 \cdot 10^{-31}$  кг, а масса протона  $1,67 \cdot 10^{-27}$  кг. Выразите эти величины в атомных единицах массы (а.е.м.).
2. Расстояние между протонами в ядре 1 фм. Вычислите силу кулоновского взаимодействия между двумя протонами.
3. Период полураспада радона 3,8 суток. Через сколько суток масса радона уменьшится в 4 раза?
4. Период полураспада радия 1600 лет. Какая часть радиоактивных ядер этого вещества останется не распавшейся через 3200 лет и 4800 лет?
5. На сколько изменится энергия системы частиц, если их масса изменится на 25 атомных единиц массы (вычисления проведите с точностью до 0,0001)?
6. Элемент  ${}^A_ZX$  подвергается  $3\alpha$ - и  $2\beta$ -распаду. Определите зарядовое и массовое числа для заново созданного элемента Y.

## 4.10 ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ ЯДЕР. ДЕФЕКТ МАСС

Как вы знаете, атомное ядро – взаимосвязанная физическая система.



- Из каких частиц состоит взаимосвязанная физическая система атомного ядра?
- Наверное, масса ядра равна сумме масс частиц, из которых оно состоит, а как по-вашему, так ли это?

### Исследование 1

**Определим массу “ядра”.**

**Оборудование:** шарики из конструктора атомной модели (8 красных, 10 белых), весы, разновесы, пластиковый пакет.

**Ход исследования:**

1. Перепишите в рабочий листок таблицу 4.2.

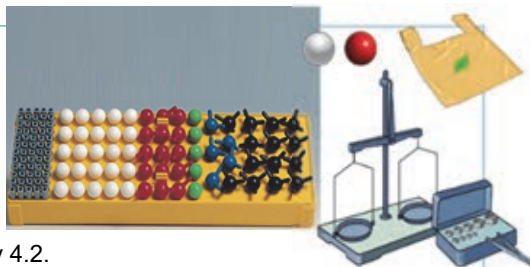
Таблица 4.2.

| Масса красных шариков – масса “нейтронов”, (кг) | Масса белых шариков – масса “протонов”, (кг) | Общая масса красных и белых шариков – масса “ядра”, (кг) |
|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                 |                                              |                                                          |

2. Взвесьте красные шарики, результат занесите в таблицу – это будет масса “нейтронов”.
3. Взвесьте белые шарики, результат занесите в таблицу – это будет масса “протонов”.
4. Высыпав все шарики в пластиковый мешок, измерьте массу и полученное значение занесите в таблицу – это будет масса “ядра”.

**Обсуждение результата:**

- Какое соотношение вы обнаружили между массой “ядра” и составляющими его массами “протонов” и “нейтронов”?
- Возможно ли, чтобы масса ядра была меньше масс образующих его протонов и нейтронов? Почему?



В результате многочисленных опытов выявлен необычный факт: масса ядра всегда меньше суммы масс образующих его нуклонов (протонов и нейтронов).

$$M_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n.$$

Это означает, что между суммой масс нуклонов и массой ядра, которое состоит из этих нуклонов, существует разность – **дефект масс**:

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}. \quad (1)$$

Здесь  $M_{\text{я}}$  – масса ядра,  $Z$  и  $N$  – соответственно, число протонов и нейтронов в ядре,  $m_p$  – масса протона,  $m_n$  – масса нейтрона,  $\Delta m$  – дефект масс.

**Почему при образовании нуклонами ядра масса ядра уменьшается на величину дефекта масс?** Уменьшение массы при образовании ядра из системы нуклонов означает уменьшение энергии взаимодействия между этими системами на величину энергии связи ( $E_{\text{св}}$ ).

• **Энергия связи ядра** – это минимальная энергия, необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны.

Для вычисления энергии связи ядра пользуются формулой А.Эйнштейна по связи между массой и энергией:

$$E_{\text{св}} = \Delta E = \Delta mc^2$$

или

$$E_{\text{св}} = [Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}] \cdot c^2. \quad (2)$$

Для вычисления энергии связи разных ядер химических элементов вместо массы протона и массы ядра удобнее воспользоваться, соответственно, массой ядра водорода ( $m_H$ ) и значением массы атома химического элемента ( $M_a$ ). При этом выражение (2) можно записать и так:

$$E_{\text{св}} = [Zm_H + Nm_n - M_a] \cdot c^2. \quad (3)$$

Приняв во внимание, что 1 а.е.м. соответствует энергии 931,5 МэВ, выражение (3) можно записать следующим образом:

$$E_{\text{св}} = [Zm_H + Nm_n - M_a] \cdot 931,5 \text{ МэВ}. \quad (4)$$

Массы некоторых частиц и атомов химических элементов приведены в таблице 4.3.

**Таблица 4.3.**

| Частица и химический элемент  | Масса     | Химический элемент                    | Масса     |
|-------------------------------|-----------|---------------------------------------|-----------|
|                               | а.е.м.    |                                       | а.е.м.    |
| Электрон ( ${}^0_1e$ )        | 0,0005486 | Литий ( ${}^6_3\text{Li}$ )           | 6,941     |
| Протон ( ${}^1_1p$ )          | 1,0072765 | Углерод ( ${}^{12}_6\text{C}$ )       | 12,0      |
| Нейтрон ( ${}^1_0n$ )         | 1,008665  | Углерод ( ${}^{13}_6\text{C}$ )       | 13,003354 |
| Водород ( ${}^1_1\text{H}$ )  | 1,007825  | Уран ( ${}^{235}_{92}\text{U}$ )      | 235,04418 |
| Дейтерий ( ${}^2_1\text{H}$ ) | 2,014102  | Уран ( ${}^{238}_{92}\text{U}$ )      | 238,05113 |
| Тритий ( ${}^3_1\text{H}$ )   | 3,016062  | Нептун ( ${}^{239}_{93}\text{Np}$ )   | 239,05326 |
| Гелий ( ${}^4_2\text{He}$ )   | 4,002603  | Плутоний ( ${}^{239}_{94}\text{Pu}$ ) | 239,05242 |
| Гелий ( ${}^3_2\text{He}$ )   | 3,016042  |                                       |           |

Устойчивость ядра характеризуется величиной, называемой **удельной энергией связи**.

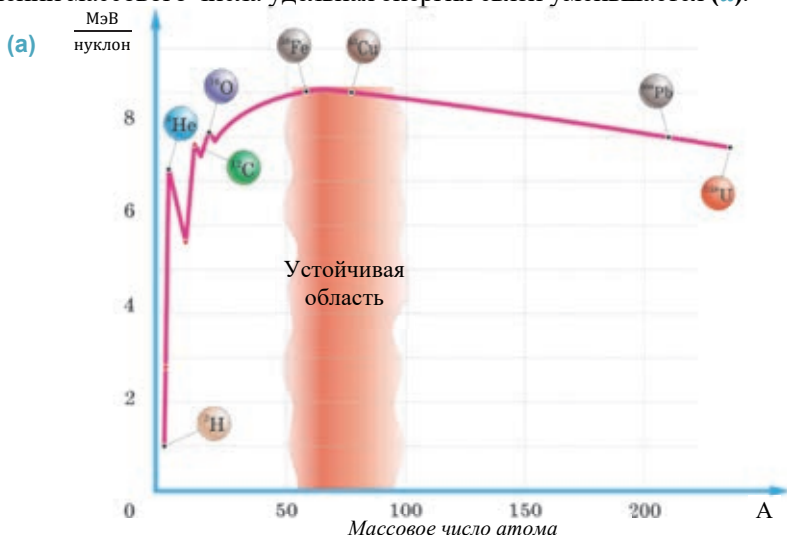
• Удельной энергией связи называется энергия связи, приходящаяся на один нуклон.

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

Здесь  $A$  – число нуклонов в ядре,  $\varepsilon$  – удельная энергия связи. Единица удельной энергии связи:

$$[\varepsilon] = \frac{[E_{\text{св}}]}{[A]} = 1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

Удельная энергия связи ядра водорода равна нулю, так как его ядро состоит из одного протона. Максимальную удельную энергию связи, равную приблизительно  $8,5 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ , имеют элементы с массовыми числами  $28 \leq A \leq 138$ . При дальнейшем увеличении массового числа удельная энергия связи уменьшается (а).



### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** Вычислите дефект масс и энергию связи для ядра  ${}^4_2\text{He}$ .

#### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ

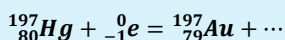
• Перепишите данные ключевые слова в рабочий листок и дайте им определения: 1. Дефект масс – ...; 2. Энергия связи – ...; 3. Удельная энергия связи – ...

#### Проверьте свои знания

1. Почему масса ядра меньше суммы масс составляющих его нуклонов? Ответ обоснуйте.
2. Как можно вычислить дефект массы?
3. Энергия связи ядра дейтерия  ${}^2_1\text{H}$ , то есть изотопа водорода равна  $1,1 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}$ , что это означает?
4. Какая разница между энергией связи и удельной энергией связи?

## 4.11 ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

В средние века алхимики (VII–XVI века) мечтали открыть секрет “Философского камня” – найти химическую реакцию превращения ртути в золото. В последующие столетия химики также очень старались превратить ртуть в золото (в Периодической системе химических элементов ртуть самый близко расположенный к золоту и дешевый элемент). Наконец, в 1940 г. физики Гарвардского университета (Бостон, США) открыли метод превращения ртути в золото. Этот метод основывается на бомбардировке  $\beta$ -частицами ( ${}_{-1}^0e$ ) радиоактивных изотопов ртути-197:



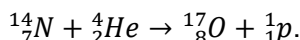
Однако полученный изотоп золота через 5-10 минут самопроизвольно превратился опять в ртуть.

- Что означает бомбардировка изотопа частицами?
- При бомбардировке изотопа какой частицей он может превратиться в ядро другого химического элемента? Почему?
- Какой химический элемент самопроизвольно может превратиться в другой элемент? Почему?

### Исследование 1

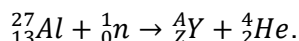
#### Первая ядерная реакция!

**Задача.** Первую ядерную реакцию в 1919 году осуществил Резерфорд. Бомбардировкой  $\alpha$ -частицей ( ${}_2^4\text{He}$ ) ядра азота  ${}_7^{14}\text{N}$  он получил ядро кислорода  ${}_8^{17}\text{O}$ , и один протон ( ${}_1^1p$ ):



При бомбардировке нейтроном ядра алюминия  ${}_{13}^{27}\text{Al}$  получено новое ядро и одна  $\alpha$ -частица ( ${}_2^4\text{He}$ ).

Определите массовое и зарядовое число элемента Y, полученного в результате ядерной реакции:



#### Обсудите результат:

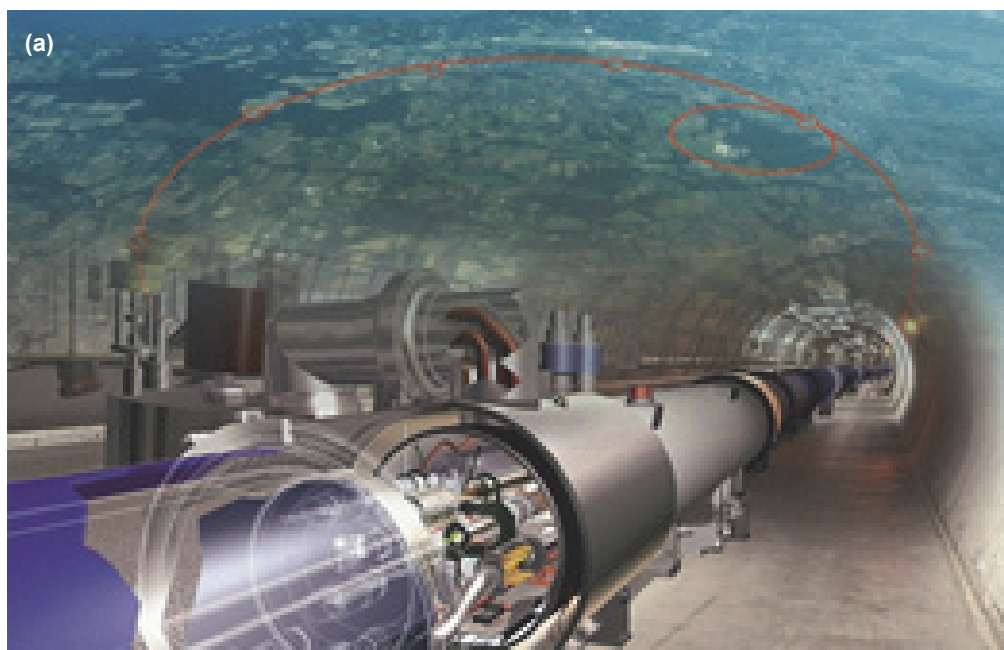
- Почему реакция, происходящая при бомбардировке изотопа частицей, называется ядерной реакцией?

Превращение одного ядра в другое происходит не только путем радиоактивного превращения. Изменение состава ядра происходит при взаимодействии ядер друг с другом, а также при взаимодействии ядер с другими частицами.

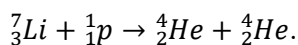
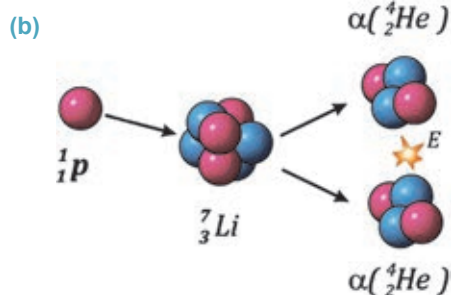
• *Превращение атомного ядра в другое атомное ядро при взаимодействии с какой-либо частицей называется ядерной реакцией.*

Для возникновения ядерной реакции необходимо, чтобы взаимодействующие между собой частицы или ядра приблизились друг к другу на расстояние радиуса действия ядерных сил ( $\approx 10^{-15}\text{м}$ ). По этой причине этим частицам необходимо сообщить большую кинетическую энергию. С этой целью используется специальная установка, называемая *ускорителем элементарных частиц*. На рисунке

представлена блок-схема установки подземного ускорителя элементарных частиц длиной в десятки километров (а).



В таких ускорителях, например,  $\alpha$ -частице придается кинетическая энергия, в сотни тысяч раз превышающая энергию  $\alpha$ -частицы при радиоактивном превращении. Первая ядерная реакция с ускоренной частицей (протоном) была проведена в 1932 году. Это реакция превращения ядра лития в два ядра гелия (b):



В этой реакции кинетическая энергия двух возникших ядер гелия больше кинетической энергии ускоренного протона. Это означает, что часть внутренней энергии ядра лития была затрачена на кинетическую энергию возникших ядер гелия.

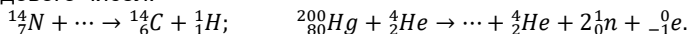
Открытие нейтрона играет очень важную роль в изучении ядерных реакций. Так, электронейтральный нейтрон даже без ускорения может беспрепятственно входить в ядро атома, превращая его в другое ядро.

Для всех ядерных реакций выполняется закон сохранения абсолютного значения массового и зарядового чисел.

Исследование 2

Дополните ядерные реакции.

**Задача.** Дополните данные ядерные реакции, используя закон сохранения массового и зарядового чисел:



ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Напишите эссе на тему «Ядерные реакции»

Проверьте свои знания

1. Чем отличается ядерная реакция от радиоактивного распада?
2. С какой целью используется ускорение элементарных частиц?
3. Почему нейтроны могут вызвать ядерную реакцию независимо от своей энергии, а  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицы и протоны вызывают ядерную реакцию только при наличии большой кинетической энергии?
4. Какие законы сохранения должны выполняться при ядерных реакциях?

Упражнение 4.5

1. Определите удельную энергию связи изотопа железа  ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ , имеющего атомную массу 55,9355 а.е.м.
2. Используя таблицу Менделеева, определите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи трития.
3. Дополните данные ядерные реакции:
  - 1)  ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + \dots$ ;
  - 2)  $\dots + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^{22}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$ ;
  - 3)  ${}^{55}_{25}\text{Mn} + {}^1_1\text{H} \rightarrow \dots + {}^1_0\text{n}$ ;
  - 4)  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow \dots + 3 \cdot {}^1_0\text{n} + {}^{143}_{55}\text{Cs}$ .
4. Дополните данные ядерные реакции:
  - 1)  ${}^{18}_8\text{O} + {}^1_1\text{H} \rightarrow \dots + {}^1_0\text{n}$ ;
  - 2)  $\dots + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{30}_{14}\text{Si} + {}^1_1\text{H}$ ;
  - 3)  ${}^{56}_{26}\text{Fe} + {}^2_1\text{H} \rightarrow \dots + {}^4_2\text{He}$ ;
  - 4)  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{95}_{38}\text{Sr} + \dots + {}^{139}_{54}\text{Xe}$ .

## 4.12 Деление ядер урана

Выяснив строение ядра, а также зависимость энергии связи между нуклонами от массового числа ядра, ученые приступили к более глубокому изучению ядра. Они исследовали процессы, возникающие при бомбардировке ядер разных элементов высокоскоростными частицами: протонами,  $\alpha$ -частицами, нейтронами и  $\beta$ -частицами. Эти исследования привели к неожиданному открытию. Было установлено, что при бомбардировке нейтронами тяжелых ядер они делятся на два осколка-ядра, относящихся к среднемассовым химическим элементам, с возникновением новых нейтронов.

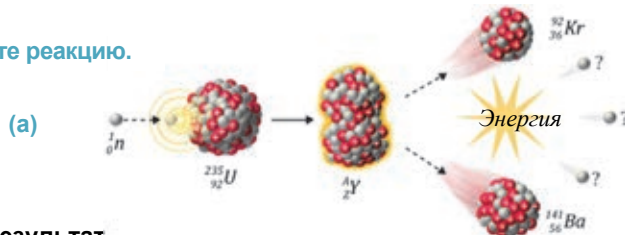
• Под действием каких сил происходит деление ядра на два осколка: под действием мощных ядерных сил между нуклонами, или кулоновской силы электрической природы?

### Исследование 1

При бомбардировке ядра урана нейтронами произошло неожиданное явление...

**Задача.** В 1938 году немецкие ученые Отто Ган и Фриц Штрассман открыли **реакцию деления тяжелых ядер урана** при бомбардировке их нейтронами. В ходе этой реакции, поглотивший нейтрон изотоп урана-235 превращается в новый изотоп. Однако ввиду неустойчивости этого изотопа он сразу делится на два осколка из средней части таблицы элементов. В ходе реакции возникают еще и три новые одинаковые частицы (а). Определите полученный в ходе ядерной реакции изотоп  ${}^A_ZY$  и образовавшиеся новые частицы.

Запишите реакцию.



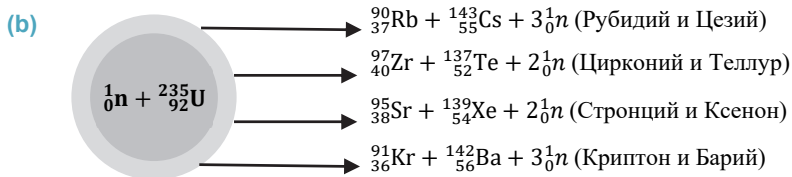
Обсудите результат.

- Что произойдет, если каждая из вновь образованных частиц встретится с ядром урана-235?
- Что необычного в этой реакции: чем она отличается от других, ранее изученных вами ядерных реакций?

**Деление тяжелых ядер.** Из экспериментов было установлено, что при бомбардировках тяжелых ядер нейтронами, проводимых в одинаковых условиях, наблюдаются странные явления:

- образуются ядра элементов средней части периодической таблицы;
- образуется новое поколение нейтронов;
- новые нейтроны участвуют в новых ядерных реакциях деления и этот процесс повторяется в растущем режиме;
- выделяется большое количество энергии.

Например, при столкновении ядра урана-235 с нейтронами такой же энергии получаются разные ядра, сопровождаемые появлением новых нейтронов и выделением огромного количества энергии – возможна любая из представленных на рисунке ядерных реакций (b).



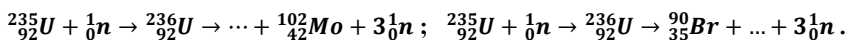
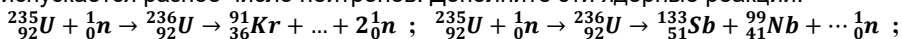
**Механизм деления ядра урана.** Механизм этого деления Нильс Бор объяснил на основе капельной модели ядра. По его мнению, ядро напоминает каплю жидкости, состоящую из сгустка электрически заряженных нуклонов. Эта капля при столкновении с нейтроном возбуждается. Нарушается баланс между ядерными силами притяжения, действующими между нуклонами, и кулоновскими силами отталкивания между протонами. Ядро, деформируясь, приобретает вытянутую форму и нуклоны на его концах отодвигаются друг от друга. В результате действие кулоновских сил между нуклонами преобладает над действием ядерных сил и ядро делится на два осколка (см.: а). При делении ядра урана возникают ядра химических элементов с малыми массами, например, ядра бария и криптона. Уменьшение общей массы при ядерной реакции, вызывает выделение большого количества энергии, эквивалентной уменьшению этой массы.

Процесс деления ядра сопровождается испусканием двух-трех нейтронов (в зависимости от реакции их число может быть и больше) нового поколения. Причина заключается в том, что в тяжелых ядрах число нейтронов больше числа протонов. В полученных в процессе деления среднемассовых ядрах отношение числа нейтронов к протонам меньше, чем их отношение в тяжелых ядрах, поэтому выбрасываются лишние нейтроны.

## Творческое применение

### Исследование 2

**Задача.** При бомбардировке нейтроном ядра урана-235 возникают два новых ядра и испускается разное число нейтронов. Дополните эти ядерные реакции:



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?

Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:

1. При бомбардировке тяжелых ядер нейтронами ... ;
2. Причина деления на две части ядра урана, поглотившего нейтрон, ... ;
3. Причина выделения энергии при делении ядра урана ...

### Проверьте свои знания

1. Как выгодно бомбардировать ядро урана: нейтроном или протоном? Почему?
2. Почему в результате деления ядра урана возникает новое поколение нейтронов?
3. Какова причина выделения большого количества энергии в процессе деления ядра урана?

### 4.13 ЦЕПНАЯ ЯДЕРНАЯ РЕАКЦИЯ. АТОМНАЯ БОМБА

Исследования процесса деления ядер тяжелых химических элементов в начале XX века открыли путь к новым открытиям. К сожалению, первое же такое открытие привело к созданию оружия массового уничтожения, рассчитанного против человечества – атомной бомбы. Наверное, вы слышали об атомной трагедии, произошедшей в японских городах Хиросима и Нагасаки.



- Сколько всего людей погибло в результате взрыва всего двух атомных бомб, сброшенных на эти города?
- Откуда возникла такая “сокрушительная сила” в атомной бомбе массой 4 тонны, которая превратила людей в пепел, разрушила здания и превратила города в кладбища?

#### Исследование 1

**В течение первых 30 секунд погибло 30% населения города!**

**Задача.** 6 августа 1945 года военные США сбросили на японский город Хиросима атомную бомбу.

На участке вокруг эпицентра взрыва бомбы в течение первых 30 секунд сгорело и превратилось в пепел 30% населения города.

Спустя неделю погибло еще 28% населения города – от радиоактивного излучения.

В день взрыва атомной бомбы в городе Хиросима проживало 260 000 человек.

Определите число людей, погибших за первые 30 секунд и через неделю после взрыва.

**Обсудите результат:**

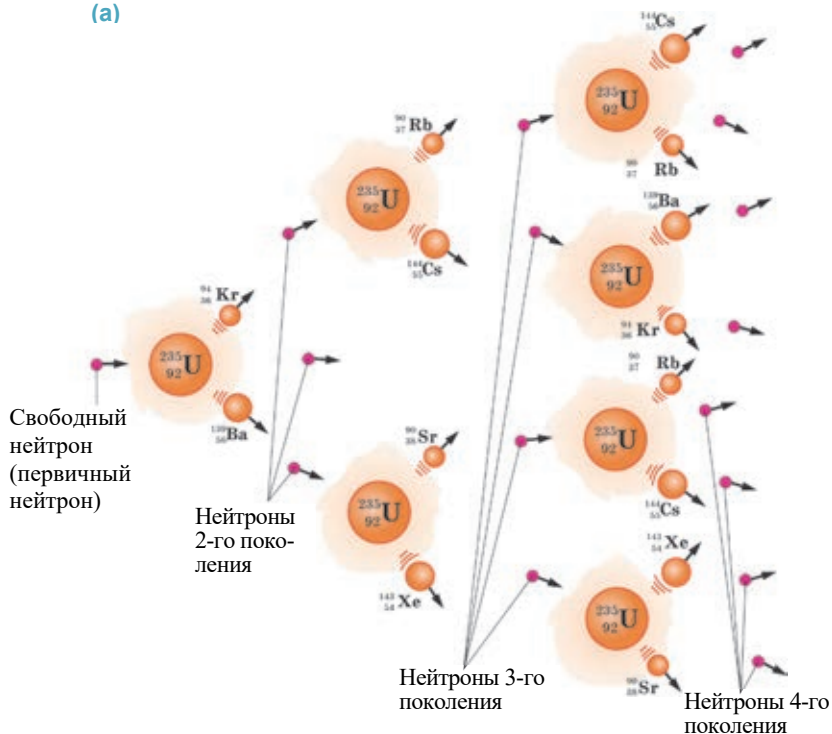
- Откуда возникла при взрыве атомной бомбы такая большая энергия, которая мгновенно сожгла людей?
- Смертельному воздействию какого излучения подверглись люди, погибшие через неделю после взрыва?



**Цепная ядерная реакция.** При столкновении нейтронов нового “поколения”, возникающих при реакции распада ядер урана с новыми ядрами урана, происходит и реакция их распада. При каждой такой реакции возникает следующее поколение нейтронов, также способное осуществить деление и, таким образом, под влиянием первичных нейтронов возникает длинная цепь распада ядер урана (а).

- **Цепная реакция** – это лавинообразное увеличение числа делящихся ядер урана.

(a)



**Необходимые условия возникновения цепной ядерной реакции.** Для осуществления цепной ядерной реакции необходимо выполнение двух условий:

1. При цепной реакции коэффициент размножения нейтронов должен быть равен единице или превышать ее.

• **Коэффициентом размножения нейтронов** называется отношение числа нейтронов в данном поколении цепной реакции к их числу в предыдущем поколении:

$$k = \frac{N_{\text{следующее}}}{N_{\text{предыдущее}}}.$$

Значит, для протекания цепной ядерной реакции коэффициент размножения нейтронов должен быть  $k \geq 1$ . При  $k > 1$  число нейтронов, вызывающих распад ядра, со временем увеличивается и происходит неуправляемая цепная ядерная реакция, приводящая к взрыву. При коэффициенте размножения нейтронов  $k < 1$  число нейтронов постепенно убывает и реакция затухает. А при коэффициенте размножения нейтронов  $k = 1$  число нейтронов, вызывающих распад ядра, не меняется и цепная ядерная реакция носит управляемый характер.

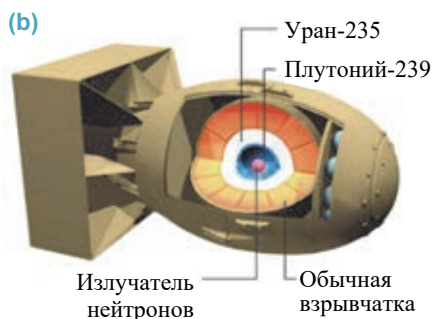
2. Масса не должна иметь значение меньше определенного, называемого **критической массой**. Критическая масса создает возможность столкновения нейтронов с ядрами урана и дает возможность возникновения цепной реакции. Если же она меньше этой массы, то вероятность взаимодействия нейтронов с

ядром урана уменьшается. Они «пролетают» мимо ядра и цепной реакции не происходит.

• *Минимальное значение массы урана, требуемое для протекания цепной ядерной реакции, называется **критической массой**.*

Критическая масса для изотопа урана  $^{235}_{92}\text{U}$  в сферической форме равна 48 кг, а для изотопа плутония  $^{239}_{94}\text{Pu}$  – 10 кг.

**Атомная бомба.** Взрыв атомной бомбы происходит благодаря цепной ядерной реакции. При этом происходит самый простой метод реализации этой реакции. С этой целью используются два куска тяжелого ядерного вещества, масса каждого из которых чуть меньше критической (b): первый – изготовленная из изотопа урана-235 металлическая капсула, а второй – плутоний-239, помещенный внутрь этой капсулы. В каждой из них в отдельности цепная реакция не происходит, так как их масса меньше критической. Но небольшой взрыв внутри бомбы соединяет эти вещества, происходит неуправляемая цепная реакция – ядерный взрыв. При взрыве температура мгновенно повышается до миллионов градусов, металлическая урановая капсула и все вещества мгновенно превращаются в пар. Горячая плазма, расширяясь с большой скоростью, сжигает и разрушает все на своем пути.



### Творческое применение

#### Исследование 2

**Закончите данную задачу после ознакомления с условием и принципом её решения.**

**Задача.** Сколько энергии выделит 48 кг изотопа атома урана-235 при цепной реакции?

**Решение.** Удельная энергия связи урана равна  $\varepsilon_{\text{урана}} = 7,6 \frac{\text{MeV}}{\text{нуклон}}$ , а удельная энергия связи осколков из группы распавшихся среднемассовых ядер равна  $\varepsilon_{\text{осколков}} = 8,5 \frac{\text{MeV}}{\text{нуклон}}$  (см.: тема 4.10). Разность между этими энергиями:

$$\varepsilon = (8,5 - 7,6) \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}} = 0,9 \frac{\text{МэВ}}{\text{нуклон}}.$$

Количество энергии, выделяемой при делении одного ядра урана  $^{236}_{92}\text{U}$ , будет равно:  $\varepsilon = 0,9 \text{ МэВ} \cdot 236 \approx 200 \text{ МэВ}$ , так как в каждом делении участвуют 236 нуклонов.

В изотопе урана-235 массой 1 кг содержится  $N = \frac{6,02 \cdot 10^{26}}{235} = 2,6 \cdot 10^{24}$  число ядер. Общее количество энергии, выделенное при делении этих ядер, будет равно:

$$\varepsilon = 200 \cdot 2,6 \cdot 10^{24} \text{ МэВ} = 5,2 \cdot 10^{26} \text{ МэВ} = 8,3 \cdot 10^{13} \text{ Дж}.$$

**Определите:** сколько выделилось энергии при взрыве атомной бомбы в результате цепной ядерной реакции 48 кг изотопа урана-235?

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ



• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Цепная ядерная реакция – ...
2. Коэффициент размножения нейтронов – ...
3. Критическая масса – ...
4. Атомная бомба – ...

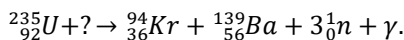
## Проверьте свои знания

1. Какая реакция называется цепной ядерной реакцией?
2. Какие условия являются обязательными для возникновения цепной ядерной реакции?
3. Какая ядерная реакция используется в атомной бомбе?
4. Где впервые была использована атомная бомба и чем это завершилось?

## Упражнение

4.6

1. За счет каких сил осколки ядер удаляются друг от друга с большой скоростью?
2. В результате столкновения с частицей ядро урана распалось на два осколка. При этом возникли 3 новых нейтрона и  $\gamma$ -излучение. С какой частицей столкнулось ядро урана?



3. Какое предположение верно?

- 1 – При делении ядра урана возникают два новых осколка ядра.
- 2 – При делении ядра урана выделяется огромное количество энергии.
- 3 – При делении ядра урана возникает новое поколение нейтронов.
- 4 – Ядро урана с легкостью распадается при взаимодействии с протонами.
- 5 – Ядро урана с легкостью делится при взаимодействии с нейтронами.

A) 1, 2, 3 и 4

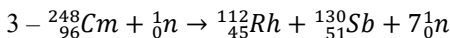
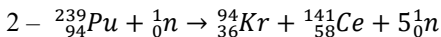
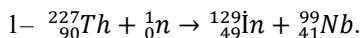
B) 1, 2, 3 и 5

C) 1, 3, 5

D) 1, 2, 3, 4 и 5

E) 1, 2, 5

4. Какая из реакций может использоваться как цепная реакция деления ядра? Почему?



5. Сколько выделится энергии в результате цепной реакции 10 кг изотопа плутония-239 при взрыве атомной бомбы?

#### 4.14 ДЕЙСТВИЕ РАДИОАКТИВНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. ПОГЛОЩЕННАЯ ДОЗА ИЗЛУЧЕНИЯ

6 августа 2007 года на гранитном мемориале “Жертвы Хиросимы” был выбит список оставшихся в живых после ядерного взрыва 5221 человека из 260 000 населения города. Это говорит о том, что еще 100 000 человек, оставшихся в живых после ядерного взрыва, постепенно погибли в течение последующих 62 лет под действием радиоактивного излучения.



- Каков состав радиоактивного излучения?
- Имеется ли радиоактивное излучение в классе, в вашей квартире, на бульваре у моря, в фруктах и овощах?
- Все ли радиоактивные излучения опасны для человека?

**Радиоактивное излучение и его состав.** Действие радиоактивного излучения при определенных условиях может представлять опасность для жизнедеятельности всех живых организмов. Характер этого действия зависит от вида излучения и его интенсивности. Даже относительно слабое излучение может нарушить нормальную деятельность живой ткани. Так, под действием ядерного излучения в живых тканях происходит вырывание электронов из атомов, то есть их ионизация, и ткань в этих частях повреждается. В результате в живом организме нарушается деятельность нервной системы, обмен веществ, процесс деления клеток, способность продолжения рода. Организм заболевает малокровием (резким уменьшением гемоглобина), раком и лучевой болезнью, которые могут привести к смерти.

Радиоактивное излучение имеет сложный состав. Оно может состоять из  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц,  $\gamma$ - и рентгеновского излучения, протонов, нейтронов и ионов тяжелых элементов.

$\alpha$ -частица не может пройти через обычный лист бумаги и кожу человека. Однако ее попадание в организм человека через открытые раны, пищу и дыхательные пути очень опасно.

$\beta$ -частицы имеют большую проникающую способность: они способны пройти через кожу человека, проникнуть внутрь на несколько сантиметров и нанести серьезные повреждения тканям.

Наиболее глубокую проникающую способность имеют  $\gamma$ - и рентгеновское излучения, а также нейтроны. Для защиты от них используют толстостенные железобетонные и свинцовые покрытия. Поэтому этот состав излучения представляет наибольшую опасность для живых организмов.

Самый простой путь защиты от излучения – находиться от источника излучения как можно дальше, потому что интенсивность излучения обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника.

**Поглощенная доза излучения.** Воздействие излучения на живые организмы характеризуется физической величиной, называемой *поглощенной дозой излучения*.

• *Поглощенная доза излучения – это физическая величина, измеряемая отношением поглощенной телом энергии к его массе:*

$$D = \frac{E}{m}.$$

Здесь  $D$  – поглощенная доза излучения,  $E$  – поглощенная энергия излучения,  $m$  – масса тела, поглотившего излучение.

Единицей поглощенной дозы излучения в СИ является *грей* ( $Гр$ ).

$$[D] = \frac{[E]}{[m]} = 1 \frac{Дж}{кг} = 1 Гр.$$

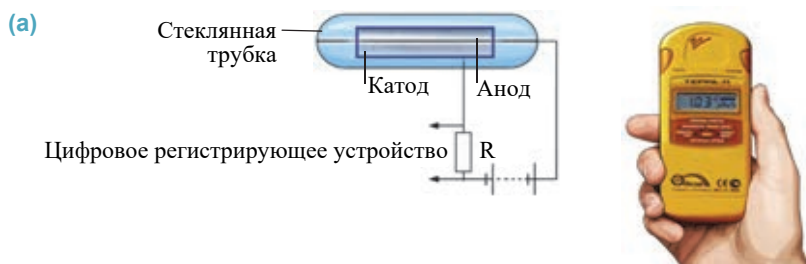
• 1  $Гр$  – это такая доза излучения, при которой телу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения в 1 джоуль.

На практике доза излучения часто выражается в *рентгенах* ( $P$ ):

$$1P \approx 0,01 Гр.$$

Солнечная радиация, космическое излучение, радиация земной коры и окружающей среды образуют *естественный фон поглощенной дозы излучения*. Его годовая норма для каждого человека составляет 0,002  $Гр$ . Доза излучения 3–10  $Гр$ , полученная человеком в течение короткого времени, считается смертельной.

**Дозиметры.** Для получения информации о радиоактивном распаде используются счетчики – *детекторы*, регистрирующие частицы или  $\gamma$ -излучение, входящие в его состав. На практике наиболее часто используются *счетчик Гейгера*, дозиметр для автоматического подсчета частиц. Счетчик состоит из стеклянной трубки, покрытой изнутри металлической фольгой (катодом). Вдоль оси трубки проходит тонкая металлическая нить (анод) (**a**).



Между анодом и катодом создают высокое напряжение. Трубка заполняется неоном или аргоном, обладающими малым давлением. При попадании внутрь баллона заряженных частиц, входящих в состав радиоактивного излучения, они ионизируют находящийся там газ: электроны направляются к аноду, а положительные ионы к катоду. Сила тока, проходящая через счетчик, резко увеличивается и регистрируется цифровым устройством (см.: **a**).

### Творческое применение

#### Исследование 2

**Задача.** Среднее значение поглощаемой дозы излучения ученым, работающим в лаборатории ядерных исследований, за 1 час составляет 14  $мкГр$ . Насколько опасно получаемое ученым облучение, если он работает по 6 часов в день 260 рабочих дней в год? Минимальный предел дозы облучения для человека 50  $мГр$ .

## ЧТО ВЫ УЗНАЛИ?



• Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их.

1. Состав радиоактивного излучения – ... ;
2. Поглощаемая доза излучения – ... ;
3. Естественный фон поглощаемой дозы излучения – ... ;
4. Дозиметр – ...

## Проверьте свои знания

1. Почему радиоактивное излучение опасно для человека и других живых организмов?
2. От какого излучения очень трудно защититься? Почему?
3. Как можно защититься от радиоактивного излучения?
4. Что означает поглощенная доза излучения и какая доза для человека смертельна?
5. Как можно определить количество поглощенной дозы излучения?

## 4.15 ЯДЕРНЫЙ РЕАКТОР

Вы узнали, что при цепной реакции ядро урана, поглотившего нейтрон, испускает 2-3 нейтрона нового поколения, распадается на два новых осколка ядра и выделяет 200 МэВ энергии. Нейтроны же нового поколения поглощаются другими встречными ядрами урана, возникновение нейтронов нового поколения, ядерных осколков и выделение энергии приобретает лавинообразный характер.



- Что происходит при нерегулируемой цепной ядерной реакции?
- Возможно ли регулировать цепную ядерную реакцию и направить ее энергию в полезном людям направлении? Как это можно сделать?

## Исследование

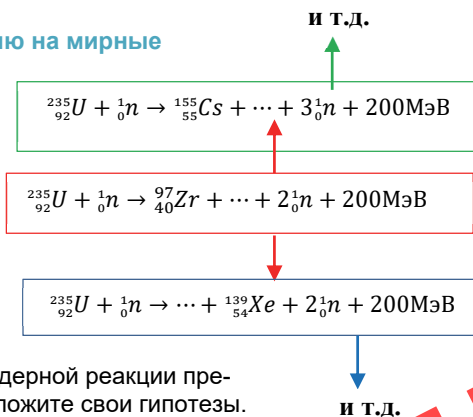
1

Можно ли направить ядерную энергию на мирные цели?

**Задача.** Перепишите в рабочий листок данную незавершенную цепную ядерную реакцию. Используя таблицу Периодической системы химических элементов, запишите вместо точек символы соответствующих осколков ядра, возникающих в реакции.

**Обсудите результат:**

- Как можно регулировать эту цепную ядерную реакцию?
- Можно ли выделяемую энергию при ядерной реакции преобразовать в другой вид энергии? Изложите свои гипотезы.



Основная проблема использования ядерной энергии заключается в достижении управляемости цепной ядерной реакцией: энергия должна выделяться в небольших дозах в течение длительного времени, а не выделяться в огромном количестве в течение короткого времени в виде взрыва.

Для этого надо сделать так, чтобы число делящихся в единицу времени ядер оставалось неизменным. Устройство, применяемое для претворения в жизнь такого процесса, называется **ядерным реактором**.

• **Ядерный реактор** – это устройство, позволяющее получать управляемую ядерную цепную реакцию и сохранять ее в течение нужного времени.

Основные элементы ядерного реактора следующие:

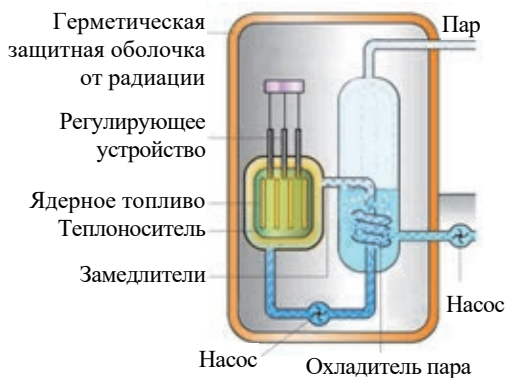
1) **ядерное топливо** ( $^{235}_{92}\text{U}$ ;  $^{238}_{92}\text{U}$ ;  $^{239}_{94}\text{Pu}$  и другие) – его заполняют в специальные ампулы, которые помещают в активную зону реактора;

2) **замедлители нейтронов** (тяжелая или обычная вода, графит и другие) – они, замедляя быстрые нейтроны, обеспечивают их взаимодействие с ядерным топливом;

3) **теплоноситель** (холодная вода или жидкий натрий) – направляет выделяемое при ядерной реакции тепло на паровую турбину;

4) **Регулирующее устройство** (стержни, содержащие кадмий или бор) – в процессе реакции управляет коэффициентом размножения нейтронов: при полном погружении стержней в активную зону реактора коэффициент размножения нейтронов будет  $k < 1$ . Если же стержни вынуть из активной зоны реактора, то  $k > 1$  (см.: тема 4.13). Для предотвращения радиации ( $\gamma$ -излучения, потока нейтронов и других) реактор снаружи покрывается герметической защитной оболочкой (а).

(а) Основные элементы ядерного реактора



Первый ядерный реактор был создан в 1942 году в США под руководством Энрико Ферми. В Европе первый реактор был введен в рабочий режим в бывшем СССР в 1946 году научным коллективом во главе с Игорем Курчатовым. Одним из членов этого коллектива был известный азербайджанский ученый-радиохимик Аббас Аббасали оглу Чайхорский.



Аббас Аббасали оглу  
Чайхорский  
(1917–2008)  
Действительный член бывшей  
АН СССР.

• В бывшем Советском Союзе его имя держалось в секрете. Много лет (1961–1989) был председателем Государственного комитета по безопасности ядерных реакторов. Создал новую периодическую систему химических элементов.

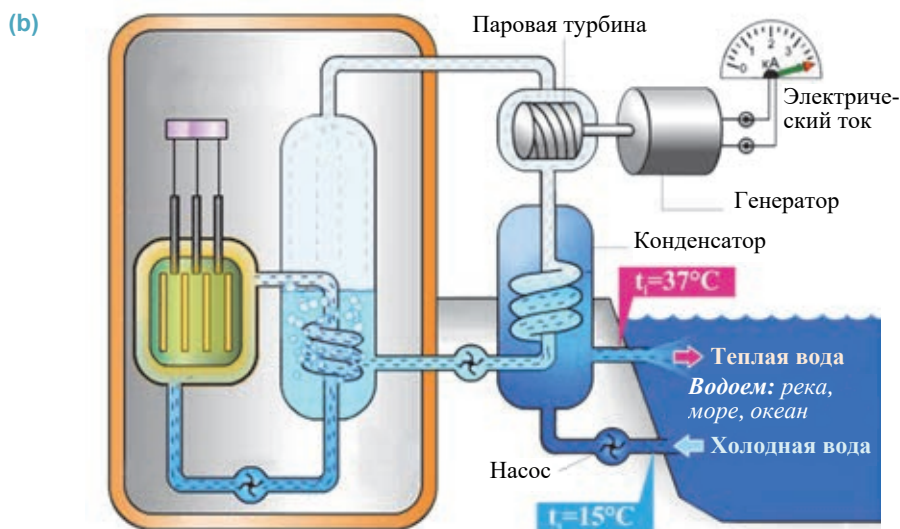
## Творческое применение

## Исследование 2

На чем основывается работа атомной электрической станции?

**Оборудование:** принципиальная схема атомной электрической станции (АЭС).

**Ход исследования:** внимательно рассмотрите принципиальную схему АЭС (b) и исследуйте ее принцип работы.



**Обсудите результат:**

- Какие последовательные превращения энергии происходят в АЭС?
- Какое условие должно выполняться для предотвращения взрыва во время цепной ядерной реакции?
- Объясните технологию получения электрической энергии в АЭС.
- Где еще применяется ядерный реактор?

ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

- Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:  
1. Ядерный реактор – ...; 2. Ядерное топливо – ...; 3. Регулирующие стержни – ...; 4. Теплоноситель – ...; 5. Замедлитель нейтронов – ...

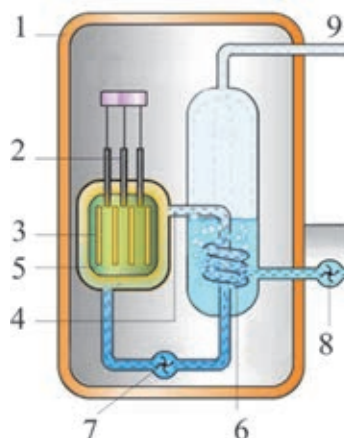
Проверьте свои знания

1. Что такое ядерный реактор и с какой целью его используют?
2. Как регулируется в ядерном реакторе коэффициент размножения нейтронов?
3. За счет чего в ядерном реакторе происходит выделение энергии?
4. Что общего и в чём отличие АЭС от тепловой электростанции?

# Упражнение

4.7

1. В результате облучения больных внутренних органов человека каждый 1 гр живой ткани поглощает  $10^8$   $\alpha$ -частиц. Какова доза облучения на каждый 1 гр живой ткани, если одна  $\alpha$ -частица обладает энергией  $8,3 \cdot 10^{-13}$  Дж?
2. Доза облучения источника  $\gamma$ -излучения в 1 секунду равна  $98,5 \cdot 10^{-4}$  Гр. Определите дозу полученного облучения стоящим около источника радиации человеком за 1 час. В какой степени эта доза опасна для него?
3. На рисунке представлена схема ядерного реактора. Каким частям реактора соответствуют числа на нем?



4. В ядерном реакторе графит и вода используются в качестве замедлителей, целью которого является ...
  - А) ... замедлить быстрые нейтроны, чтобы уменьшить вероятность реакции радиоактивного деления ядер;
  - В) ... замедлить быстрые нейтроны, чтобы увеличить вероятность реакции радиоактивного деления ядер;
  - С) ... замедлить реакцию радиоактивного деления ядер, чтобы предотвратить ядерный взрыв;
  - Д) ... замедлить реакцию радиоактивного деления ядер для легкого управления реактором;
  - Е) ... замедлить осколки, используя кинетическую энергию осколков полученные при делении.
5. За счет каких последовательных преобразований энергии получается электрическая энергия в АЭС? Пронумеруйте последовательность превращения энергии.

LAYIN

## 4.16 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ (УРОК–ПРЕЗЕНТАЦИЯ)

*Подготовьте компьютерную презентацию об альтернативных источниках энергии. При подготовке к презентации можно воспользоваться данным материалом и планом.*

### ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ И НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Со времен возникновения человечества до наших дней люди использовали разные источники для удовлетворения своих энергетических потребностей. Источники энергии бывают двух видов: возобновляемые и невозобновляемые.

#### НЕВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

- **Газ** – дешевый вид топлива. Потребление газа в промышленности и быту началось еще в прошлые столетия. Люди еще на заре возникновения цивилизации были свидетелями выхода газа из недр Земли. За несколько сотен лет до нашей эры на Абшеронском полуострове, северо-западных берегах Каспийского моря встречались “вечные огни”, “горящие воды” освещали море, превратившись в естественные маяки для кораблей.



- **Каменный уголь** – вид природного топлива, бывает черным, бурым и блестящим (антрацит). Он широко используется для обогрева жилых, рабочих и образовательных помещений, на тепловых электростанциях.



- **Нефть** – считается наиболее важным энергетическим ресурсом на Земле. Она является незаменимым сырьем для тепловых электростанций и транспортных средств. Исторические корни азербайджанской нефти уходят в очень далекое прошлое. Арабские путешественники в VIII веке сообщали о нефтяных землях в Баку, “белой” и “черной” нефти на Абшероне. Итальянский путешественник Марко Поло (XIII–XIV вв.) сообщал о перевозке бакинской нефти в Иран, Центральную Азию, Турцию и Индию и ежегодном доходе от нефти.



- **Ядерное топливо** – основное топливо, используемое на АЭС, богатые залежи урана, обеспечивают производство дешевой энергии. Самые крупные производители урана в мире – Казахстан, Австралия и Канада.



#### ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

- **Солнечная энергия** – количество солнечной энергии, падающей на поверхность Земли, во много раз превышает энергию нефти, газа, угля и других видов топлива. Наиболее эффективной технологией потребления солнечной энергии являются солнечные батареи. Количество солнечных часов в нашей стране составляет 2400–3200 часов в год, а количество солнечной энергии, падающей на 1 квадратный метр поверхности Земли, равно 1500–2000 кВт·час.

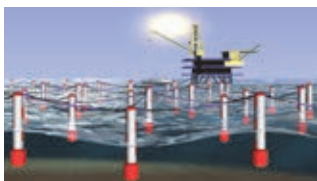




• **Энергия ветра** – экологически чистая и неиссякаемая энергия. В 2009 году рядом с селом Шураабат Хызынского района были сооружены 2 ветроэлектростанции (ВЭС). Эти установки произвели за год 7 миллионов кВт-часов электроэнергии. Эта электроэнергия, наряду с удовлетворением потребностей Хызинского района на 50 процентов, обеспечивает потребителей “зеленой” энергией.



• **Энергия воды** – по производству энергии ГЭС занимают второе место. Здесь энергия производится за счет истощаемого, но восстанавливаемого потока воды. В Азербайджане только на реке Кура построены три большие ГЭС.



• **Энергия моря и океана** – эта энергия получается за счет приливов и отливов, волн и течений в океанах и морях. Этот неисчерпаемый и самый дешевый вид энергии позволяет получить большой объем энергии с небольшой площади.

#### План подготовки презентации

|                |                                                                                                                                                                              |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Название презентации</li> <li>• Подготовил (класс, имя и фамилия ученика)</li> </ul>                                                |
| <b>2 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Что понимается под альтернативной энергией?</li> </ul>                                                                              |
| <b>3 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Исчерпаемые источники энергии: покажите примеры</li> <li>• Технология использования невозобновляемых источников энергии</li> </ul>  |
| <b>4 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Неисчерпаемые источники энергии: приведите примеры</li> <li>• Технология использования возобновляемых источников энергии</li> </ul> |
| <b>5 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Возобновляемые источники альтернативной энергии в Азербайджане, возможности и перспективы их использования</li> </ul>               |
| <b>6 слайд</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Невозобновляемые источники альтернативной энергии в Азербайджане, возможности и перспективы их использования</li> </ul>             |

**LAYIH**

## 4.17 ТЕРМОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Исследование графика зависимости удельной энергии связи химических элементов от массовых чисел (см.: тема 4.10) показало, что ядерную энергию можно получить не только путем деления тяжелых ядер, но и путем слияния (синтеза) легких ядер.



- Почему при ядерной реакции выделяется огромное количество энергии?

### Исследование 1

**Вычислите энергию, выделяемую при синтезе легких ядер.**

**Задача.** При синтезе ядер дейтерия ( ${}^2_1\text{H}$ ) и трития ( ${}^3_1\text{H}$ ) возникает ядро гелия и испускается один нейтрон. Напишите ядерную реакцию синтеза и вычислите количество выделившейся при реакции энергии, приходящееся на каждый нуклон, – удельную энергию связи (а.е.м. частиц возьмите из таблицы 4.3).

**Обсудите результат:**

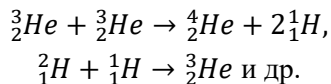
- При какой реакции количество выделившейся энергии, приходящееся на один нейтрон, больше: при делении ядра урана или при реакции слияния двух легких ядер?

**Ядерная реакция синтеза.** Для слияния (синтеза) двух ядер они должны преодолеть кулоновскую силу отталкивания имеющих одинаковый электрический заряд протонов и сблизиться до расстояния действия ядерных сил ( $10^{-15}$  м). Для этого ядра должны иметь очень большую кинетическую энергию. Для получения ядер с такими энергиями, реакцию синтеза необходимо проводить при очень высокой температуре ( $\approx 10^8 \div 10^9$  К), так как при таком нагревании скорости и кинетические энергии частиц будут иметь большая значение.

• Реакция слияния (синтеза) легких ядер, протекающая при очень высокой температуре, называется **термоядерной реакцией**.

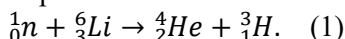
Проведенное исследование показало, что в результате термоядерной реакции происходит выделение большого количества энергии. Приходящееся на каждый нуклон количество выделяющейся при этом энергии в 3,5 раза больше, чем энергии, выделяемой при цепной ядерной реакции. Поэтому термоядерная энергия может стать для человечества неисчерпаемым источником энергии. Основная проблема заключается в изготовлении устройств для протекания этих реакций, способных удерживать плазму, разогретую до миллиарда градусов – *управляемого термоядерного реактора*. Эта проблема в земных условиях все еще не нашла своего технического решения. Но такие условия существуют на Солнце и других звездах, в центре которых температура составляет  $\approx 13$  миллионов градусов. При такой температуре атомы полностью ионизированы и вещество находится в состоянии плазмы – состоит только из ядер. Так как ядра имеют большую кинетическую энергию, то они испытывают непрерывные столкновения с другими ядрами. В результате на Солнце и других звездах непрерывно происходит самопроизвольная реакция синтеза и выделяется большое количество энергии.

Исследования показали, что внутри Солнца и других звезд, вероятно, протекает следующая ядерная реакция синтеза:



• *Солнце и другие звезды – самоуправляемые естественные термоядерные реакторы.*

**Водородная бомба.** *Неуправляемая термоядерная реакция была получена при взрыве водородной бомбы.* Боеголовка бомбы состоит из смеси дейтерия и трития, называемой **LiD**. В качестве запала (детонатора) используется атомная бомба. Сначала внутри водородной бомбы взрывают атомную бомбу. В результате резко возрастает температура и возникает мощный поток нейтронов. Происходит реакция слияния нейтронов с литием. При ядерной реакции синтеза возникают ядра гелия и трития:



При слиянии ядер дейтерия и лития с нейтроном при высокой температуре происходит неуправляемая термоядерная реакция – выделяется огромное количество энергии и водородная бомба взрывается (а).

## Творческое применение

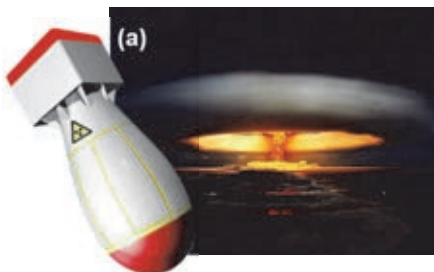
### Исследование 2

**Сколько энергии выделяется при взрыве водородной бомбы?**

**Задача.** Вычислите количество приходящейся на каждый нуклон энергии, выделившейся при реакции в результате взрыва водородной бомбы (1) (а.е.м. для элемента и частиц возьмите из таблицы 4.3).

**Обсудите результат:**

В результате взрыва какой бомбы количество энергии, приходящейся на каждый нуклон, больше: атомной, или водородной?



### ЧТО ВЫ УЗНАЛИ ?

• **Перепишите предложения в рабочий листок и дополните их:**

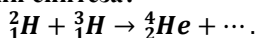
1. Термоядерная реакция – ...; 2. Солнце и другие звезды – ...;
3. Водородная бомба – ...

### Проверьте свои знания

1. Какие реакции относятся к термоядерным?
2. Какие имеются трудности для проведения термоядерных реакций в земных условиях?
3. Что составляет источник энергии Солнца и других звезд?
4. Какие общие и отличительные черты у водородных и атомных бомб?

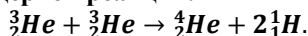
### Упражнение 4.8

1. Какая частица возникает при данной термоядерной реакции? Сколько выделяется энергии при реакции синтеза?

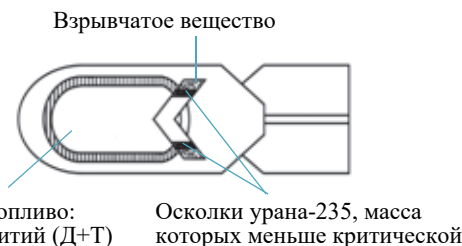


2. Чем отличаются друг от друга термоядерная и цепная реакции? Где происходят эти реакции?

3. Вычислите количество приходящейся на каждый нейтрон энергии, выделяющейся при данной термоядерной реакции.



4. На рисунке представлена упрощенная схема водородной бомбы. Объясните на основании этой схемы механизм приведения бомбы в действие.



### 4.18 ЯВЛЯЕТСЯ ЛИ ЯДЕРНОЕ ОРУЖИЕ ГАРАНТОМ МЕЖДУНАРОДНОГО МИРА? (УРОК-ДЕБАТЫ)

Ядерное оружие обладает очень большой разрушительной силой. Взрыв его приводит к катастрофическим последствиям в социальной, производственной и экологической сферах. Некоторые страны XXI века видят самый надежный путь защиты от нападения врага в обладании ядерным оружием.



- Все ли страны, в том числе и Азербайджан, вправе обладать ядерным оружием?
- Есть ли необходимость соблюдать принцип обладания ядерным оружием и средствами его доставки для применения?
- Послужит ли обладание ядерным оружием гарантией для поиска компромиссных путей мира между странами?
- Может ли страна, обладающая ядерным оружием, воздействовать на международные соглашения?

#### Дебаты

- Проведите обсуждения по проблемным вопросам и приведите дополнения к данным в учебнике фактам.

1. Все страны, в том числе и Азербайджан, имеют право на обладание ядерным оружием.



• 3а

Ядерное оружие – наиболее эффективное оборонительное средство для защиты территории от нападения противника. Любая страна, в том числе и Азербайджан, имеет право защищать свою землю от нападения врага. Делать это обычным оружием иногда бывает сложно.



• Против

Конечно, у каждой страны, в том числе и у Азербайджана, есть право на обладание ядерным оружием. Но это не означает, что Азербайджан обязательно должен воспользоваться этим правом. Применение ядерного оружия против какой-либо страны, естественно, приведет к применению этого оружия данной страной против Азербайджана. Не трудно представить, какие катастрофические последствия ожидают в результате небольшую страну.

## 2. Необходимо отказаться от ядерного оружия и его применения.



• За

Отказ от ядерного оружия приведет к воздержанию от применения противником ядерного оружия. Чем меньше стран будут обладать ядерным оружием, тем меньше риск его применения.



• Против

Данный принцип имеет серьезные недостатки:

- 1) нерационален, потому что применение ядерного оружия одной страны против другой приведет к катастрофе на земном шаре;
- 2) число стран, желающих обладать ядерным оружием, непрерывно будет расти;
- 3) ядерное оружие будет распространяться в геометрической прогрессии.

## 3. Ядерное оружие служит гарантией поиска компромиссных путей для мира между странами.



• За

Для стран, обладающих ядерным оружием, военный конфликт между собой не выгоден, он может привести к тяжелым потерям. Поэтому ядерное оружие является средством сохранения международной стабильности.



• Против

А что, если президентом страны, обладающей ядерным оружием, станет нервный человек? Есть ли в этом случае гарантия, что он будет искать мирный компромисс, а не применит ядерное оружие? Нет!

## 4. Страна, обладающая ядерным оружием, может воздействовать на международные соглашения.



• За

Обычно пути решения проблем на международных форумах определяют страны, обладающие ядерным оружием. Если же все страны будут обладать ядерным оружием, то между странами возникнет и сохранится баланс воздействия на решение международных задач.



• Против

В решении международных задач не все определяет ядерное оружие. В настоящее время экономическая мощь и потенциал страны имеют более важное значение в дипломатических переговорах.

## Обобщающие задания

1. Определите число протонов, нейтронов и электронов в атоме вольфрама по Периодической системе химических элементов.

|          |               |
|----------|---------------|
| <b>W</b> | <b>74</b>     |
|          | <b>183,85</b> |
| Volffram |               |

| A)               | B)               | C)              | D)               | E)               |
|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| Протонов – 110   | Протонов – 74    | Протонов – 74   | Протонов – 184   | Протонов – 110   |
| Нейтронов – 74   | Нейтронов – 110  | Нейтронов – 110 | Нейтронов – 74   | Нейтронов – 74   |
| Электронов – 184 | Электронов – 184 | Электронов – 74 | Электронов – 184 | Электронов – 110 |

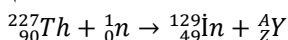
2. На сколько изменится массовое число ядра при  $\beta$ -излучении?

- A) не изменится  
B) уменьшится на 1 единицу  
C) увеличится на 1 единицу  
D) уменьшится на 2 единицы  
E) увеличится на 2 единицы

3. Какой формулой можно вычислить дефект массы?

- A)  $\Delta m = \frac{F}{g}$   
B)  $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_N$   
C)  $\Delta m = \frac{M}{N_A}$   
D)  $\Delta m = \frac{F}{a}$   
E)  $\Delta m = \rho V$

4. Определите изотоп элемента, его массовое (A) и зарядовое (Z) числа, возникшие при данной ядерной реакции:



- A) A = 98; Z = 90  
B) A = 99; Z = 40  
C) A = 98; Z = 41  
D) A = 99; Z = 41  
E) A = 51; Z = 99

5. Период полураспада радиоактивного изотопа равен 2 минутам. Сколько ядер распадается из 1500 ядер изотопа за 2 минуты?

- A) 1500  
B) 375  
C) 750  
D) 500  
E) 300

## А

**Аккомодация** – свойство хрусталика глаза менять свою оптическую силу.

**1 Ампер** – это сила постоянного тока, который при прохождении по двум тонким бесконечно длинным параллельным проводникам, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную  $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$ .

**Атомное ядро** – это устойчивая взаимосвязанная система, состоящая из протонов и нейтронов. Протоны и нейтроны, образующие ядро, называются *нуклонами*.

## В

**Вакуум** – среда сильно разреженного ( $10^{-3}$ – $10^{-8}$  мм рт.ст.) воздуха. Здесь молекулы газа почти не взаимодействуют друг другом.

**Вакуумный диод** – *вакуумный баллон, содержащий катод и анод, работа которого основывается на явлении термоэлектронной эмиссии.*

**Вогнутые линзы** – линзы, которые в середине тоньше, чем у краев. Они бывают двояковогнутыми, плоско-вогнутыми или выпукло-вогнутыми.

**Вогнутое сферическое зеркало** – это зеркало, отражающее лучи света с внутренней поверхности сферического сегмента.

**Выпуклые линзы** – линзы, которые в середине толще, чем у краев. Они бывают двояковыпуклыми, плосковыпуклыми или вогнуто-выпуклыми.

**Выпуклое сферическое зеркало** – это зеркало, рассеивающее лучи света с внешней поверхности сферического сегмента.

## Г

**Газовый разряд** – протекание электрического тока через газ.

**Главная оптическая ось линзы** – прямая линия, проходящая через центры  $O_1$  и  $O_2$  сферических поверхностей, ограничивающих линзу.

**Главный фокус собирающей линзы** – точка, в которой пересекаются лучи света, падающие на собирающую линзу параллельно главной оптической оси, она обозначается буквой F. Точка главного фокуса собирающей линзы действительная, потому что в этой точке пересекаются сами преломленные в линзе лучи.

**Главный фокус рассеивающей линзы** – точка на главной оптической оси, через которую проходят продолжения расходящегося пучка лучей, возникающего после преломления в линзе лучей, параллельных главной оптической оси. Главный фокус рассеивающей линзы – мнимый, так как в этой точке пересекаются не сами лучи, а их продолжения.

## Д

**Дефект масс** – разность между суммой масс нуклонов и массой ядра, которое состоит из этих нуклонов:

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}.$$

Здесь  $M_{\text{я}}$  – масса ядра,  $Z$  и  $N$  – соответственно, число протонов и нейтронов в ядре,  $m_p$  – масса протона,  $m_n$  – масса нейтрона,  $\Delta m$  – дефект массы.

**Диамагнетики** – это вещества, магнитная проницаемость которых меньше единицы ( $\mu < 1$ ). Диамагнетики (Cu, Ag, Au и все инертные газы) слабо отталкиваются постоянными магнитами.

**Диэлектрики** – это вещества, не обладающие свободными носителями заряда и состоящие только из связанных зарядов.

## З

**Закон отражения света** – падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Угол падения равен углу отражения:  $\beta = \alpha$ .

**Закон преломления света** выражается двумя положениями: 1) Падающий луч, преломленный луч и перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. 2) Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух данных сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n.$$

**Зарядовое число ядра** равно числу протонов в ядре. Зарядовое число обозначается буквой  $Z$  и пишется в нижнем индексе химического элемента.

## И

**Изотопы** – атомы с одинаковым числом протонов в ядре, но с разными массовыми числами (по-гречески *izos* – означает “одинаковый” и *topos* – означает “место”).

**Индукция магнитного поля** (или магнитная индукция) является силовой характеристикой магнитного поля. Магнитная индукция обозначается буквой  $\vec{B}$  и характеризует воздействие магнитного поля на магнит (или тело с магнитными свойствами), помещенный в данное магнитное поле. Магнитная индукция является векторной физической величиной. Направление вектора индукции магнитного поля определяется направлением северного полюса магнитной стрелки, помещенной в данной точке магнитного поля.

**Индукционный ток** – возникновение электрического тока в замкнутых витках, находящихся в переменном магнитном поле, называется *явлением электромагнитной индукции*, а возникающий ток называется *индукционным током*.

## К

**Коэффициент размножения нейтронов** – отношение числа нейтронов в данном поколении цепной реакции к их числу в предыдущем поколении:

$$k = \frac{N_{\text{следующее}}}{N_{\text{предыдущее}}}.$$

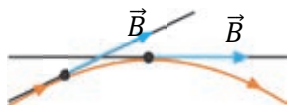
## Л

**Линейное увеличение линзы** – это физическая величина, равная отношению линейного размера изображения к линейному размеру тела. Линейное увеличение линзы обозначается буквой  $\Gamma$  (гамма):

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

**Линза** – прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями (иногда одна из поверхностей может быть плоской).

**Линии магнитной индукции** – это такие линии магнитного поля, касательная, проведенная к каждой точке которых, совпадает с направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$  в данной точке.



## М

**Магнетики** – вещества, способные изменить магнитное поле.

**Магнитная проницаемость вещества** показывает, во сколько раз модуль магнитной индукции однородного магнитного поля в веществе отличается от модуля магнитной индукции поля в вакууме  $B_0$ :

$$\mu = \frac{B_0 + B_{\text{ин}}}{B_0} = \frac{B}{B_0}, \quad B = \mu B_0.$$

**Магнитное поле** – это вид материи, возникающий при движении электрического заряда.

**Массовое число ядра** равно общему числу нуклонов в ядре. Массовое число обозначается буквой  $A$ . Массовое число ( $A$ ) = число протонов ( $Z$ ) + число нейтронов ( $N$ ):  $A = Z + N$ .

**Мнимое изображение** – это изображение, получаемое пересечением продолжений преломленных лучей после прохождения линзы или лучей, отраженных от зеркала.

## Н

**Несамостоятельный разряд** – газовый разряд, происходящий под действием ионизатора.

## О

**Оптика** (от греческого слова *optos* – “видимый”) – раздел физики, изучающий световые явления.

**Оптический центр линзы** – точка  $O$ , находящаяся в центре линзы на главной оптической оси.

**Оптическая сила линзы** – величина, обратная главному фокусному расстоянию линзы. Единицей оптической силы в СИ является диоптрия (1 дптр).

1 диоптрия это оптическая сила линзы, фокусное расстояние которой равно 1 м:

$$[D] = \frac{1}{[F]} = \frac{1}{\text{м}} = 1 \text{ дптр}.$$

**Оптическую систему глаза** образуют прозрачные элементы: роговая оболочка, передняя камера, хрусталик и внутренняя камера, преломляющие световой луч в глазе.

## П

**Парамагнетики** – это вещества, магнитная проницаемость которых незначительно больше единицы ( $\mu > 1$ ). Парамагнетики (Al, Li, O<sub>2</sub>, Na и другие) слабо притягиваются постоянными магнитами.

**Поглощенная доза излучения** – это физическая величина, измеряемая отношением поглощенной телом энергии к его массе:

$$D = \frac{E}{m}.$$

**Полупроводники** – это вещества, у которых число свободных носителей заряда зависит от внешнего воздействия (температуры, освещения, внесения примесей в их состав и другие).

**Постоянные магниты** или **магниты** – вещества, длительное время сохраняющие свои магнитные свойства.

**Правило левой руки для силы Ампера** – левую руку надо поместить в магнитное поле так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению тока, при этом отогнутый на 90° большой палец укажет направление силы Ампера, действующей на провод с током.

**Правило левой руки для силы Лоренца** – левую руку надо поместить в магнитное поле так, чтобы вектор магнитной индукции входил в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению движения положительного заряда (против направления движения отрицательного заряда). При этом отогнутый на 90° большой палец покажет направление действия силы Лоренца на заряд.

**Преломление света** – изменение направления распространения луча света при прохождении из одной среды в другую на границе этих сред.

**Период полураспада** – промежуток времени, в течение которого распадается половина имеющихся радиоактивных ядер.

## Р

**Радиоактивность** – явление самопроизвольного, без внешнего воздействия, излучения атомов, а само это излучение называется радиоактивным излучением.

**Радиоактивное превращение** – самопроизвольное превращение одного радиоактивного ядра в другое ядро.

**Ротор** (от латинского слова *roto* – “вращаю”) – является подвижной частью двигателя, помещается внутри статора. Ротор в форме цилиндрической рамки является электромагнитом. Он иногда называется *якорем*.

## С

**Самостоятельный разряд** – прохождение электрического тока через газ при отсутствии внешнего ионизатора.

**Сверхпроводимость** – физическое явление, заключающееся в скачкообразном падении до нуля электрического сопротивления вещества при определенной температуре, называемой *критической температурой*.

**Сила Ампера** – сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током и равная произведению силы тока, модуля магнитной индукции, длины проводника и синуса угла между направлением тока и вектором магнитной индукции:

$$F_A = IBls\sin\alpha.$$

**Сила Лоренца** – сила, действующая на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля:  $F_L = qvBs\sin\alpha$ .

**Статор** (от лат. *sto* – “стою”) – неподвижная часть электрического двигателя, состоит из постоянного магнита, закрепленного к корпусу, или катушки с железным сердечником (электромагнита). Иногда статор называют *индуктором*. В статоре создается мощное магнитное поле.

**Сферическое зеркало** – поверхность тела в форме сферического сегмента, зеркально отражающая свет.

## Т

**Таблица Снеллена** – применяется в медицинских учреждениях для проверки остроты зрения у людей. Она состоит из 11–12 строк произвольно написанных букв. Самые крупные буквы написаны в первой строке, от строки к строке размеры букв постепенно уменьшаются. Нормальный глаз, не напрягаясь, видит буквы в первой строке с расстояния 60 м, а буквы из 9-й строки – с расстояния 6 м.

**Термоэлектронная эмиссия** – явление испускания электронов с поверхности металла, нагретого до высокой температуры.

**Термоядерная реакция** – реакция слияния (синтеза) легких ядер, протекающих при очень высокой температуре.

**Температурный коэффициент сопротивления** численно равен относительному изменению сопротивления проводника при нагревании его на 1°C (1 K):

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0 t} = \frac{R - R_0}{R_0 \Delta T}.$$

Относительное изменение сопротивления проводника прямо пропорционально изменению температуры:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha t = \alpha \Delta T.$$

Для чистых металлов температурный коэффициент сопротивления  $\alpha$  всегда  $> 0$  и равен нижеприведенному значению:

$$\alpha \approx \frac{1}{273} \frac{1}{^\circ\text{C}} = \frac{1}{273} \frac{1}{\text{K}}.$$

**1 Тесла** – магнитная индукция такого однородного магнитного поля, которое на участок проводника длиной 1 м, расположенного перпендикулярно линиям магнитной индукции, при силе тока 1 А действует с силой, равной 1 Н:

$$[B] = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}} = 1 \frac{\text{кг}}{\text{А} \cdot \text{с}^2} = 1 \text{Тл}.$$

**Тонкая линза** – линза, толщина которой намного меньше радиусов кривизны линзы  $R_1$  и  $R_2$ .

**Точечный источник света** – источник света, размерами которого можно пренебречь при данных условиях.

## У

**Удельная энергия связи** – энергия связи, приходящая на один нуклон:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

## Ф

**Ферромагнетики** – это вещества, магнитная проницаемость которых во много раз больше единицы ( $\mu \gg 1$ ). Ферромагнетики (Gd, Fe, Ni, Co и некоторые их сплавы) сильно притягиваются постоянными магнитами. Все ферромагнетики – кристаллические вещества.

**Фокальная плоскость линзы** (или сферического зеркала) – плоскость, проходящая через главную фокусную точку линзы перпендикулярно главной оптической оси линзы.

## Э

**Электролиты** – растворы (или расплавы) веществ (соль, кислота и щелочь), проводящие электрический ток.

**Электролитическая диссоциация** – процесс распада нейтральных молекул в воде на положительные и отрицательные ионы.

**Электролиз** – процесс выделения вещества на электродах при протекании электрического тока через электролит.

**Электродвигатель** – это устройство, преобразующее электрическую энергию в механическую.

**Электромагнитная индукция** – явление возникновения электрического тока в замкнутых витках, находящихся в переменном магнитном поле, а возникающий ток называется *индукционным током*.

**Электронвольт** – равен кинетической энергии, полученной электроном в процессе ускорения между двумя точками с напряжением 1 В.

**Энергия связи ядра** – это минимальная энергия, необходимая для расщепления ядра на отдельные нуклоны.

$$E_{\text{св}} = \Delta E = \Delta mc^2 \quad \text{или} \quad E_{\text{св}} = [Zm_p + Nm - M_{\text{я}}] \cdot c^2$$

## Я

**Ядерные силы** – силы, удерживающие частицы (протоны и нейтроны) в ядре, действуют на расстояниях  $< 10^{-15}$  м.

**Ядерный реактор** – это устройство, позволяющее получать управляемую цепную ядерную реакцию и сохранять ее в течение нужного времени.

BURAXILIŞ MƏLUMATI

**FİZİKA – 9**

*Ümumtəhsil məktəbləri i 9-cu si fi üçü*

*Fizika fə i üzrə*

**DƏRSLİK**

*Rus dili də*

**Tərtibçi heyət:**

Müəlliflər

**Mirzəli İsmayıl oğlu Murquzov**  
**Rasim Rəşid oğlu Abdurazaqov**  
**Rövşən Mirzə oğlu Əliyev**  
**Dilbər Zirək qızı Əliyeva**

Tərcüməçi

**Oqtay Həsənov**

Redaktor

**Fəridə Babazadə**

Bədii redaktor

**Taleh Məlikov**

Texniki redaktor

**Zeynal İsayev**

Dizayner

**Taleh Məlikov**

Rəssam

**Elmir Məmmədov**

Korrektor

**Olqa Kotova**

© Azərbaycan Respublikası Təhsil Nazirliyi (qrif nömrəsi: 2020-078)

Müəlliflik hüquqları qorunur. Xüsusi icazə olmadan bu nəşri və yaxud onun hər hansı hissəsini yenidən çap etdirmək, surətini çıxarmaq, elektron informasiya vasitələri ilə yaymaq qanuna ziddir.

Hesab-nəşriyyat həcmi: 12,8. Fiziki həcmi: 14 çap vərəqi.

Formatı: 70×100<sup>1/16</sup>. Kəsindən sonrakı ölçüsü: 165×240. Səhifə sayı: 224.

Şriftin adı və ölçüsü: Times New Roman, Arial qarnituru 9-11 pt. Ofset kağızı. Ofset çapı.

Sifariş \_\_. Tiraj 11157. Pulsuz. Bakı – 2020.

**Əlyazmanın yığma verildiyi və çapa imzalandığı tarix: 08.06.2020**

Nəşriyyat:

**“Bakı” nəşriyyatı**

(Bakı, H.Seyidbəyli küç., 30)

Çap məhsulunu istehsal edən:

**Çaşıoğlu Elm-İstehsalat MMC**

(Bakı, M.Müşfiq küç., 2A)

**LAYİH**