



**Я сдам ЕГЭ!**



ФИПИ

М. Ю. Демидова В. А. Грибов  
А. И. Гиголо

**ФИЗИКА**

**ЕГЭ**

**2018**

**ЭЛЕКТРОДИНАМИКА  
КВАНТОВАЯ ФИЗИКА**

**Типовые задания**

**Теория**

**Практика**

**Ключи и ответы**

# Я сдам ЕГЭ!

М. Ю. Демидова В. А. Грибов  
А. И. Гиголо

## ФИЗИКА

# ЕГЭ

### Типовые задания

Учебное пособие  
для общеобразовательных  
организаций

В двух частях  
**Часть 2**

**Электродинамика**  
**Квантовая физика**

Москва  
«Просвещение»  
2018

УДК 373.167.1:53  
ББК 22.3я72  
Д30

12+

Модульный курс «Я сдам ЕГЭ! Физика» создан авторским коллективом из числа членов Федеральной комиссии по разработке контрольных измерительных материалов ЕГЭ по физике. Он включает пособия «Курс самоподготовки» и «Типовые задания». Курс предназначен для подготовки обучающихся 10—11 классов к государственной итоговой аттестации. Последовательность уроков предъявлена в логике экзаменационной работы по физике на основе модульного принципа. Каждое занятие нацелено на конкретный результат и содержит отработку основных теоретических сведений и практических навыков для выполнения конкретного задания экзаменационной работы. В пособии представлены тематические модули, составленные в соответствии с логикой экзаменационной работы.

Курс адресован педагогам, школьникам и их родителям для проверки/самопроверки достижения требований образовательного стандарта к уровню подготовки выпускников.

Учебное издание

**Демидова Марина Юрьевна**  
**Грибов Виталий Аркадьевич**  
**Гиголо Антон Иосифович**

**Я сдам ЕГЭ!**  
**Физика.**  
**Типовые задания**

Учебное пособие  
для общеобразовательных организаций

В двух частях  
Часть 2

ЦЕНТР ЕСТЕСТВЕННО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**Редакция физики и химии**

Зав. редакцией *Н. А. Коновалова*  
Редактор *Т. П. Каткова*  
Художественный редактор *Т. В. Глушкова*  
Компьютерная вёрстка *А. Б. Филатов*  
Корректоры *Д. А. Белитов, Н. А. Ерохина, В. П. Костылева*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 28.08.17. Формат 84 × 108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура PragmaticaCSanPin. Печать офсетная. Тираж 15 000 экз. Заказ А-2014.

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».  
127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Отпечатано в типографии Полиграфическо-издательского комплекса  
«Идел-Пресс», филиала АО «ТАТМЕДИА». 420066, г. Казань, ул. Декабристов, 2  
e-mail: id-press@yandex.ru <http://www.idel-press.ru>



6946811-7752-1167-5054-00505907618

ISBN 978-5-09-057417-4(2)  
ISBN 978-5-09-056661-1(общ.)

© Издательство «Просвещение», 2018  
© Художественное оформление.  
Издательство «Просвещение», 2018  
Все права защищены

## Уроки 36—40. Электростатика

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 3.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

3.1.1. **Электрический заряд** — скалярная физическая величина, описывающая способность тел участвовать в электромагнитном взаимодействии. Электрические заряды бывают положительные (например, на стекле, натёртом кожей) и отрицательные (например, на янтаре, натёртом шерстью). **Электризация** — процесс приобретения телом электрического заряда. Заряженные в результате электризации тела взаимодействуют друг с другом — притягиваются или отталкиваются. **Элементарный электрический заряд**  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл равен модулю заряда электрона. В природе не встречается тел с зарядом, модуль которого меньше  $e$ . **Закон сохранения электрического заряда**: в электрически изолированной системе тел алгебраическая сумма электрических зарядов тел сохраняется.

3.1.2. Электрические заряды называются **точечными**, если они расположены на телах, чьи размеры много меньше расстояния между ними. Одноимённые точечные заряды отталкиваются друг от друга, разноимённые точечные заряды притягиваются друг к другу. **Закон Кулона**: два неподвижных точечных заряда в вакууме действуют друг на друга с силами, прямо пропорциональными модулю каждого из зарядов и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}.$$

В системе СИ  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

3.1.3. По закону Кулона сила, действующая на заряженное тело, пропорциональна его электрическому заряду. Поэтому можно утверждать, что заряженное тело находится под действием **электрического поля**, существующего в месте расположения тела и действующего на тело пропорционально его заряду. Воздействие одного заряженного тела на другое в этом случае описывается так: первое тело создаёт вокруг себя электрическое поле, которое воздействует на второе тело.

3.1.4. Для количественного описания электрического поля в заданной точке  $\vec{r}$  (причём не только поля неподвижных зарядов, т. е. электростатического) вводится векторная физическая величина — **напряжённость электрического поля**  $\vec{E}$ . В поле в точку  $\vec{r}$  помещают пробный заряд  $q_{\text{пр}}$  и измеряют силу  $\vec{F}$ , которая действует на него со стороны поля. Напряжённость электрического поля определяется по формуле

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}.$$

Таким образом, на заряд  $q$ , помещённый в электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$ , действует сила

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

Модуль пробного заряда и размеры тела, на котором он находится, должны быть достаточно малы, чтобы как можно меньше изменять первоначальное расположение зарядов, создающих исследуемое поле.

Для наглядного графического представления электрического поля используется картина его линий (линий напряжённости поля). В любой точке пространства вектор  $\vec{E}$  направлен по касательной к линии поля, его направление совпадает с направлением линии поля. Густота линий поля выше там, где больше модуль  $\vec{E}$ . Линии электростатического поля не пересекаются, начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных зарядах. Они могут также приходиться из бесконечности или уходить в бесконечность.

**Картина линий электростатического поля точечного заряда**, в зависимости от знака заряда, имеет следующий вид (см. рисунок): если заряд  $q > 0$ , то вектор  $\vec{E}$  направлен по радиусу от точки, в которой расположен заряд (рис. А); если  $q < 0$ , то вектор  $\vec{E}$  направлен по радиусу к точке, в которой расположен заряд (рис. В). Проекция вектора  $\vec{E}$  на луч  $r$ , выходящий из точки, где находится заряд, равна

$$E_r = k \frac{q}{r^2}.$$

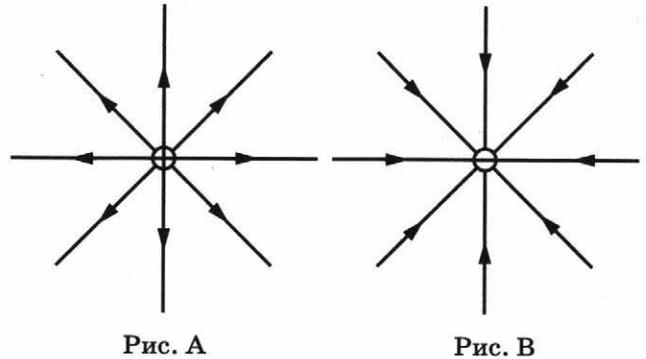
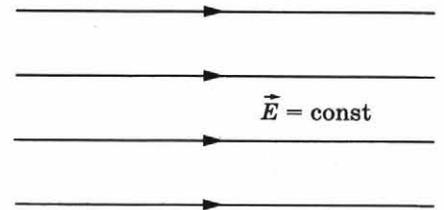


Рис. А

Рис. В

**Картина линий однородного электростатического поля.** Поле называется однородным, если  $\vec{E} = \text{const}$ , т. е. вектор  $\vec{E}$  во всех точках пространства одинаковый по модулю и одинаково направлен. Картина линий этого поля представляет собой семейство параллельных прямых, проведённых на равном расстоянии друг от друга. Однородным является поле плоской бесконечной равномерно заряженной пластины. Приблизительно однородным является поле внутри плоского конденсатора, у которого размеры пластин значительно больше расстояния между ними.



**3.1.5. Электростатическое поле потенциально:** работа электростатического поля при переносе заряда  $q \neq 0$  из фиксированной точки 1 в фиксированную точку 2 не зависит от траектории перехода из 1 в 2. Другими словами, работа электростатического поля при переносе заряда  $q \neq 0$  по любому замкнутому контуру равна нулю. В этом случае работу поля  $A_{12}$  по переносу заряда  $q$  из точки 1 в точку 2 можно выразить через разность значений потенциальной энергии  $W$  заряда в точках 1 и 2:

$$A_{12} = W_1 - W_2 = -\Delta W.$$

Подобно тому как мы связали силу, действующую на заряд, с напряжённостью поля в точке, где находится этот заряд ( $\vec{F} = q\vec{E}$ ), представим **потенциальную энергию заряда** в этой точке в виде  $W = q\varphi$ , где  $\varphi = \frac{W}{q}$  — **потенциал электростатического поля** в данной точке. В результате работу поля  $A_{12}$  по переносу заряда  $q$  из точки 1 в точку 2 можно представить в виде

$$A_{12} = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) = -q\Delta\varphi = qU_{12},$$

где  $U_{12}$  — **напряжение** между точками 1 и 2. В случае электростатического поля напряжение равно **разности потенциалов**:  $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi$ .

В случае однородного электростатического поля напряжение  $U$  между точками, находящимися на одной линии поля на расстоянии  $d$  друг от друга, связано с модулем напряжённости  $E$  поля равенством  $U = Ed$ .

3.1.6. Опыт показывает, что справедлив принцип суперпозиции для потенциала и напряжённости электрического поля:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots, \quad \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots,$$

т. е. внешние поля воздействуют на заряженное тело независимо друг от друга, при этом их воздействия складываются. Вспоминая, что  $\vec{F} = q\vec{E}$ , видим, что этот результат согласуется с принципом суперпозиции сил в механике:

$$\vec{F}_{\text{равн}} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots$$

3.1.7. Когда **проводник** оказывается **во внешнем электростатическом поле**, свободные носители заряда внутри проводника под действием этого поля приходят в упорядоченное движение, и в проводнике из-за этого происходит перераспределение зарядов. В результате поле внутри проводника уменьшается. Так продолжается до тех пор, пока напряжённость поля внутри проводника не уменьшится до нуля. Таким образом, внутри проводника, находящегося во внешнем электростатическом поле, в равновесии  $\vec{E} = 0$ . Поэтому внутри и на поверхности проводника потенциал электростатического поля  $\varphi = \text{const}$ . Следовательно, независимо от формы проводника его поверхность в электростатике эквипотенциальна, и поэтому линии электростатического поля вблизи его поверхности перпендикулярны к ней.

3.1.8. **Диэлектрики во внешнем электростатическом поле** поляризуются. В частности, на их поверхности появляются поверхностные связанные заряды. Поэтому поле внутри диэлектрика и в его окрестности отличается от исходного внешнего поля. В частности, если всё пространство вокруг точечного заряда  $q$  заполнено однородным изотропным диэлектриком с **диэлектрической проницаемостью**  $\varepsilon$ , то напряжённость поля  $\vec{E}$  в каждой точке пространства уменьшается в  $\varepsilon$  раз, и проекция вектора  $\vec{E}$  на луч  $r$ , выходящий из точки, где находится заряд, записывается в виде:

$$E_r = k \frac{q}{\varepsilon r^2} = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2}.$$

3.1.9. **Конденсатор** представляет собой два проводника (обкладки, пластины), изолированные друг от друга. На обкладки можно поместить произвольные заря-

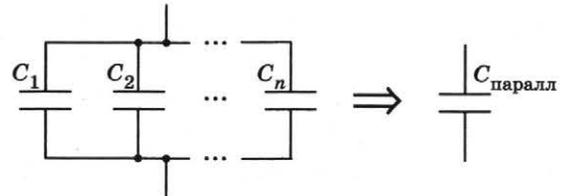
ды, но обычно рассматривается случай, когда заряды обкладок противоположны друг другу. В этом случае суммарный заряд обкладок конденсатора равен нулю, а зарядом конденсатора  $q$  считается положительный заряд одной из обкладок.

**Ёмкость** (или просто ёмкость) конденсатора  $C = \frac{q}{U}$  не зависит от его заряда и определяется формой и размерами конденсатора, а также свойствами диэлектрика между его обкладками. **Ёмкость плоского конденсатора:** конденсатор состоит из двух одинаковых плоских пластин площадью  $S$ , расположенных параллельно друг другу, зазор толщиной  $d$  между пластинами целиком заполнен однородным изотропным диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ ,  $d$  много меньше длины и ширины пластин; тогда

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}.$$

Если зазор между пластинами конденсатора (любой формы, не только плоского) заполнен воздухом или вакуумом, то его ёмкость  $C_0$  связана с ёмкостью  $C$  того же конденсатора, но заполненного диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$  соотношением  $C = \varepsilon C_0$ .

**3.1.10. Параллельное соединение конденсаторов.** Соединим параллельно конденсаторы  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Вычислим ёмкость  $C_{\text{паралл}}$  этой системы конденсаторов.

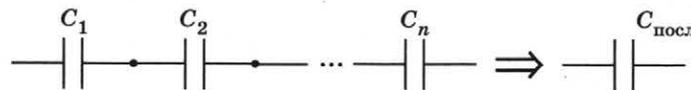


Напряжение на всех конденсаторах одинаково:  $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$ .

Общий заряд верхних пластин конденсаторов равен сумме зарядов их верхних пластин:  $q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$ .

Заряд каждого конденсатора  $q = CU$ , поэтому  $C_{\text{паралл}} U = C_1 U + C_2 U + \dots + C_n U$ , откуда  $C_{\text{паралл}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$ .

**Последовательное соединение конденсаторов.** Соединим последовательно конденсаторы  $C_1, C_2, \dots, C_n$ . Вычислим ёмкость  $C_{\text{послед}}$  этой системы конденсаторов.



Напряжение на концах цепочки конденсаторов равно сумме напряжений на каждом конденсаторе:  $U = U_1 + U_2 + \dots = U_n$ .

Поскольку обычно считается, что первоначально конденсаторы были не заряжены, то при последовательном соединении у них одинаковые заряды:  $q_1 = q_2 = \dots = q_n = q$ . Учитывая, что  $U = \frac{q}{C}$ , получим  $\frac{q}{C_{\text{послед}}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \dots + \frac{q}{C_n}$ , откуда

$$\frac{1}{C_{\text{послед}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

**3.1.11. Энергия заряженного конденсатора:**  $W_C = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$ , где  $q$  — заряд конденсатора,  $U$  — напряжение на нём.

## Задания для самостоятельной работы

## ЗАДАНИЕ 13 ЧАСТИ 1

## Принцип суперпозиции электрических полей

- 1 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) кулоновская сила  $\vec{F}$ , действующая на положительный точечный заряд  $+q$ , помещённый в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды:  $+q, +q, -q, -q$  (см. рисунок)? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 2 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) кулоновская сила  $\vec{F}$ , действующая на положительный точечный заряд, помещённый в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды:  $+q, +q, -q, -q$  (см. рисунок)? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 3 Два точечных, равных по модулю заряда  $+q > 0$  и  $-q$  расположены на одной прямой (см. рисунок). Куда направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор напряжённости результирующего электрического поля  $\vec{E}$  в точке А, равноудалённой от этих зарядов? Ответ запишите словом (словами).

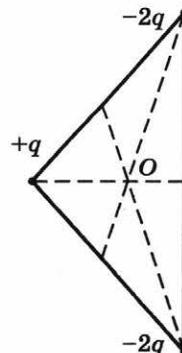
Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 4 Два точечных, равных по модулю заряда  $-q < 0$  и  $-q$  расположены на одной прямой (см. рисунок). Куда направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор напряжённости результирующего электрического поля  $\vec{E}$  в точке А, равноудалённой от этих зарядов? Ответ запишите словом (словами).

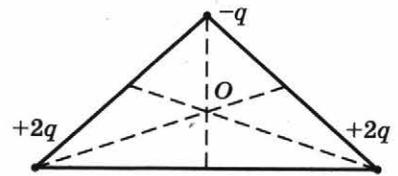
Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 5 В вершинах равнобедренного треугольника расположены точечные заряды  $-2q, +q > 0$  и  $-2q$  (см. рисунок). Куда направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор напряжённости результирующего электростатического поля в точке О пересечения медиан треугольника?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

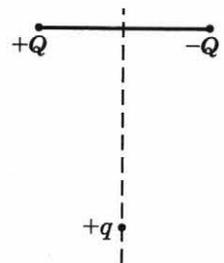


- 6 В вершинах равнобедренного треугольника расположены точечные заряды  $+2q$ ,  $-q < 0$  и  $+2q$  (см. рисунок). Куда направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор напряжённости результирующего электростатического поля в точке  $O$  пересечения медиан треугольника?



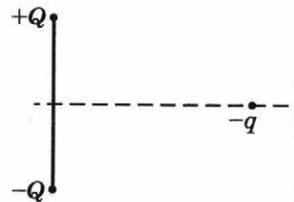
Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 7 Заряд  $+q > 0$  находится на равном расстоянии от неподвижных точечных зарядов  $+Q > 0$  и  $-Q$ , расположенных на концах тонкой стеклянной палочки (см. рисунок). Куда направлено (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) ускорение заряда  $+q$  в этот момент времени, если на него действуют только заряды  $+Q$  и  $-Q$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 8 Заряд  $-q < 0$  находится на равном расстоянии от неподвижных точечных зарядов  $+Q > 0$  и  $-Q$ , расположенных на концах тонкой стеклянной палочки (см. рисунок). Куда направлено (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) ускорение заряда  $-q$  в этот момент времени, если на него действуют только заряды  $+Q$  и  $-Q$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_ .

## ЗАДАНИЕ 14 ЧАСТИ 1

### Взаимодействие зарядов. Закон Кулона

- 1 Два неподвижных точечных заряда действуют друг на друга с силами, модуль которых равен  $F$ . Во сколько раз увеличится модуль этих сил, если один заряд увеличить в 3 раза, другой заряд уменьшить в 2 раза, а расстояние между ними оставить прежним?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 2 Два неподвижных точечных заряда действуют друг на друга с силами, модуль которых равен  $F$ . Во сколько раз уменьшится модуль этих сил, если один заряд уменьшить в 5 раз, другой заряд увеличить в 2 раза, а расстояние между ними оставить прежним?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

3 Силы электростатического взаимодействия между двумя неподвижными точечными заряженными телами равны по модулю 20 мкН. Каким станет модуль этих сил, если заряд каждого тела увеличить в 3 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкН.

4 Силы электростатического взаимодействия между двумя неподвижными точечными заряженными телами равны по модулю 80 мкН. Каким станет модуль этих сил, если расстояние между телами увеличить в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкН.

5 С какой силой взаимодействуют в вакууме два неподвижных маленьких заряженных шарика, находящиеся на расстоянии 4 м друг от друга? Заряд каждого шарика  $8 \cdot 10^{-8}$  Кл.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкН.

6 На каком расстоянии необходимо расположить в вакууме два маленьких заряженных шарика, чтобы сила их электростатического взаимодействия была равна 2,5 мкН? Заряд каждого шарика 0,1 мкКл.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

7 Во сколько раз увеличится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд увеличить в 6 раз, а напряжённость поля уменьшить в 2 раза? Силу тяжести и сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

8 Во сколько раз увеличится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд уменьшить в 2 раза, а напряжённость поля увеличить в 3 раза? Силу тяжести и сопротивление воздуха не учитывать.

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

### Ёмкость конденсатора. Энергия заряженного конденсатора

1 Плоский воздушный конденсатор имеет ёмкость  $C$ . Во сколько раз увеличится его ёмкость, если расстояние между его пластинами уменьшить в 3 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

2 Плоский воздушный конденсатор имеет ёмкость  $C$ . Во сколько раз увеличится его ёмкость, если площадь его пластин увеличить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

3 Во сколько раз уменьшится ёмкость плоского воздушного конденсатора, если площадь его обкладок уменьшить в 4 раза, а расстояние между ними увеличить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 4 Во сколько раз увеличится ёмкость плоского воздушного конденсатора, если площадь обкладок увеличить в 2 раза, а расстояние между ними уменьшить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 5 Во сколько раз увеличится энергия электрического поля конденсатора, если напряжение на его обкладках увеличить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 6 Во сколько раз уменьшится энергия электрического поля конденсатора, если заряд на его обкладках уменьшить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 7 Первый конденсатор ёмкостью  $3C$  подключён к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , а второй ёмкостью  $C$  подключён к источнику с ЭДС  $3\mathcal{E}$ . Определите отношение энергии электрического поля второго конденсатора к энергии электрического поля первого.

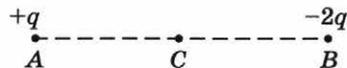
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 8 Первый конденсатор ёмкостью  $4C$  подключён к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , а второй ёмкостью  $C$  подключён к источнику с ЭДС  $2\mathcal{E}$ . Определите отношение энергии электрического поля второго конденсатора к энергии электрического поля первого.

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

### ЗАДАНИЕ 16 ЧАСТИ 1

- 1 Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках  $A$  и  $B$ , несут на себе заряды  $+q > 0$  и  $-2q$  соответственно (см. рисунок). Точка  $C$  находится посередине между бусинками  $A$  и  $B$ .



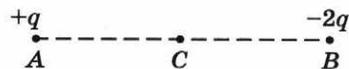
Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

- 1) на бусинку  $B$  со стороны бусинки  $A$  действует сила Кулона, направленная горизонтально вправо
- 2) напряжённость результирующего электростатического поля в точке  $C$  направлена горизонтально влево
- 3) модули сил Кулона, действующих на бусинки, одинаковы
- 4) если бусинки соединить тонкой медной проволокой, они будут отталкиваться друг от друга
- 5) если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды станут равными

Ответ:

--	--

- 2 Две маленькие закреплённые бусинки, расположенные в точках  $A$  и  $B$ , несут на себе заряды  $+q > 0$  и  $-2q$  соответственно (см. рисунок).



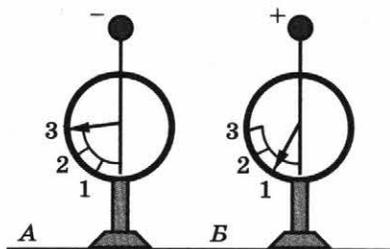
Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

- 1) на бусинку  $A$  со стороны бусинки  $B$  действует сила Кулона, направленная горизонтально влево
- 2) напряжённость результирующего электростатического поля в точке  $C$  направлена горизонтально вправо
- 3) модуль силы Кулона, действующей на бусинку  $B$ , в 2 раза меньше, чем модуль силы Кулона, действующей на бусинку  $A$
- 4) если бусинки соединить медной проволокой, они будут продолжать притягиваться друг к другу
- 5) если бусинки соединить незаряженной стеклянной палочкой, их заряды не изменятся

Ответ:

--	--

- 3 На рисунке изображены два одинаковых электрометра:  $A$  и  $B$ , шары которых имеют заряды противоположных знаков. В первом опыте электрометры соединяют проволокой, а во втором — деревянной линейкой. Выберите **два** утверждения, соответствующие данным этим опытам.

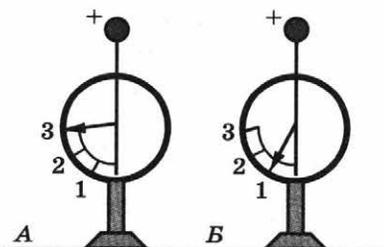


- 1) в первом опыте показание электрометра  $A$  станет равным 1, а показание электрометра  $B$  — равным 3
- 2) в первом опыте показания обоих электрометров станут равными 1
- 3) в первом опыте электрометр  $B$  полностью разрядится
- 4) во втором опыте показания электрометров не изменятся
- 5) во втором опыте показания электрометров станут одинаковыми

Ответ:

--	--

- 4 На рисунке изображены два одинаковых электрометра:  $A$  и  $B$ , шары которых заряжены положительно. В первом опыте электрометры соединяют проволокой, а во втором — деревянной линейкой. Выберите **два** утверждения, соответствующие данным этим опытам.



- 1) в первом опыте показание электрометра  $A$  станет равным 1, а показание электрометра  $B$  — равным 3
- 2) во втором опыте показания электрометров станут одинаковыми

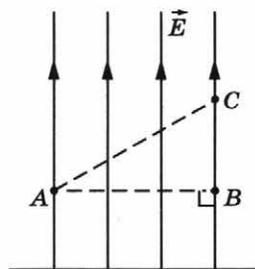
- 3) во втором опыте показания электрометров не изменятся  
 4) в первом опыте электрометр  $B$  полностью разрядится  
 5) в первом опыте показания обоих электрометров станут равными

Ответ:

--	--

- 5 На рисунке изображены линии напряжённости однородного электростатического поля, образованного равномерно заряженной протяжённой пластиной. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

- 1) заряд пластины отрицательный  
 2) потенциал в точке  $B$  меньше, чем в точке  $C$   
 3) работа сил электрического поля по перемещению точечного отрицательного заряда из точки  $A$  в точку  $B$  равна нулю  
 4) если в точку  $A$  поместить точечный отрицательный заряд, то на него со стороны пластины будет действовать сила, направленная вертикально вниз  
 5) напряжённость поля в точке  $A$  меньше, чем в точке  $C$

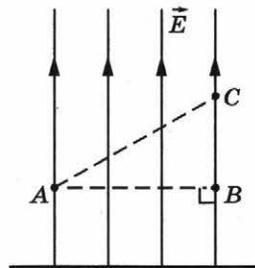


Ответ:

--	--

- 6 На рисунке изображены линии напряжённости однородного электростатического поля, образованного равномерно заряженной протяжённой пластиной. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

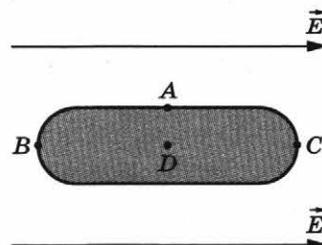
- 1) заряд пластины положительный  
 2) потенциал в точке  $B$  больше, чем в точке  $C$   
 3) работа сил электрического поля по перемещению точечного положительного заряда из точки  $A$  в точку  $B$  положительна  
 4) если в точку  $B$  поместить точечный отрицательный заряд, то на него со стороны пластины будет действовать сила, направленная вертикально вверх  
 5) напряжённость поля в точке  $A$  больше, чем в точке  $C$



Ответ:

--	--

- 7 Металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$ . Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело, и укажите их номера.



- 1) напряжённость электрического поля в точке  $D$  не равна нулю
- 2) потенциалы в точках  $A$  и  $C$  равны
- 3) концентрация свободных электронов в точке  $B$  наибольшая
- 4) в точке  $A$  индуцируется положительный заряд
- 5) в точке  $D$  индуцируется отрицательный заряд

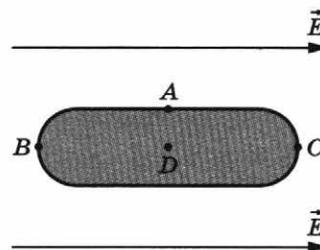
Ответ:

--	--

8 Металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$ .

Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело, и укажите их номера.

- 1) напряжённость электрического поля в точке  $D$  не равна нулю
- 2) потенциал в точке  $A$  меньше, чем в точке  $D$
- 3) концентрация свободных электронов в точке  $A$  наименьшая
- 4) в точке  $C$  индуцируется положительный заряд
- 5) в точке  $B$  индуцируется отрицательный заряд



Ответ:

--	--

### ЗАДАНИЕ 17 ЧАСТИ 1

1 Плоский конденсатор зарядили и отключили от гальванического элемента. Как изменятся при уменьшении зазора между обкладками конденсатора ёмкость конденсатора и заряд на его обкладках?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Ёмкость конденсатора	Заряд конденсатора

2 Плоский воздушный конденсатор с диэлектриком между пластинами подключён к аккумулятору. Не отключая конденсатор от аккумулятора, диэлектрик удалили из конденсатора. Как изменятся при этом ёмкость конденсатора и разность потенциалов между его обкладками?

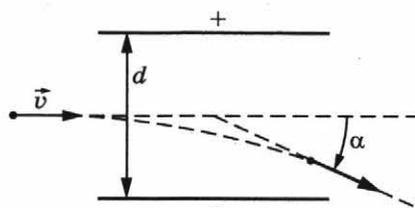
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Ёмкость конденсатора	Разность потенциалов между обкладками конденсатора

- 3 Заряженная частица массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $\vec{v}$ , влетает в поле плоского конденсатора (см. рисунок). Расстояние между пластинами конденсатора равно  $d$ , а напряжённость электрического поля между пластинами равна  $E$ . Пролетев конденсатор, частица отклоняется от первоначального направления на угол  $\alpha$ .



Как изменятся модуль скорости вылетевшей частицы и угол  $\alpha$ , если увеличить напряжённость электрического поля между пластинами конденсатора?

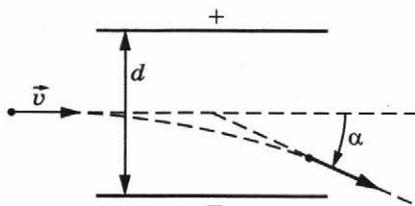
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Модуль скорости вылетевшей частицы	Угол отклонения $\alpha$

- 4 Заряженная частица массой  $m$ , движущаяся со скоростью  $\vec{v}$ , влетает в поле плоского конденсатора (см. рисунок). Расстояние между пластинами конденсатора равно  $d$ , а напряжённость электрического поля между пластинами равна  $E$ . Пролетев конденсатор, частица отклоняется от первоначального направления на угол  $\alpha$ .



Как изменятся модуль скорости вылетевшей частицы и угол  $\alpha$ , если увеличить скорость частицы на входе в конденсатор?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Модуль скорости вылетевшей частицы	Угол отклонения $\alpha$

### ЗАДАНИЕ 18 ЧАСТИ 1

- 1 На неподвижном проводящем уединённом шарике радиусом  $R$  находится заряд  $Q$ . Точка  $O$  — центр шарика,  $OA = \frac{3R}{4}$ ,  $OB = 3R$ ,  $OC = \frac{3R}{2}$ .

Модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $C$  равен  $E_C$ . Определите модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $A$  и точке  $B$ .

Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) модуль напряжённости электростатического поля шарика в точке  $A$

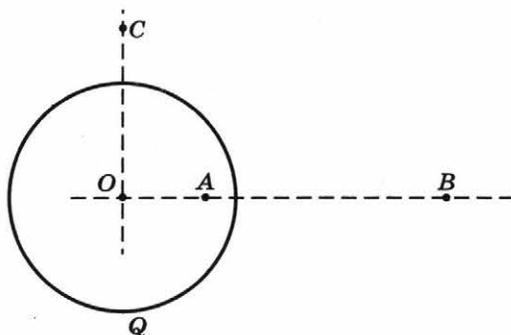
Б) модуль напряжённости электростатического поля шарика в точке  $B$

#### ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

- 1) 0
- 2)  $4E_C$
- 3)  $\frac{E_C}{2}$
- 4)  $\frac{E_C}{4}$

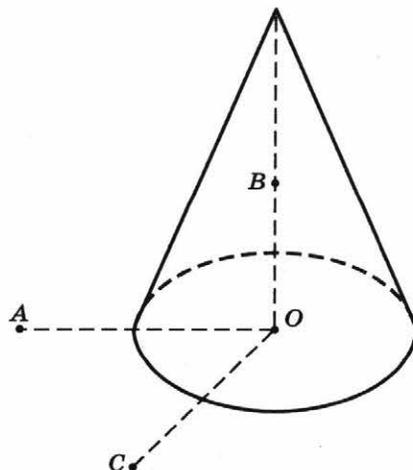
Ответ:

А	Б



- 2 На неподвижном проводящем уединённом конусе высотой  $H$  и радиусом основания  $R = \frac{H}{2}$  находится заряд  $Q$ . Точка  $O$  — центр основания конуса,  $OA = OC = 2R$ ,  $OB = R$ , угол  $AOC$  прямой, отрезки  $OA$  и  $OC$  лежат в плоскости основания конуса. Модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $C$  равен  $E_C$ . Чему равен модуль напряжённости электростатического поля заряда  $Q$  в точке  $A$  и точке  $B$ ?

Установите соответствие между физическими величинами и их значениями.



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) модуль напряжённости электростатического поля конуса в точке А

Б) модуль напряжённости электростатического поля конуса в точке В

## ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН

1) 0

2)  $E_c$

3)  $2E_c$

4)  $4E_c$

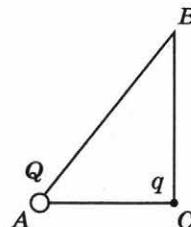
Ответ:

А	Б

## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

В вершине А прямоугольного треугольника  $ABC$  находится точечный заряд  $Q$  (см. рисунок). Он действует с силой 50 мкН на точечный заряд  $q$ , помещённый в вершину С. Если заряд  $q$  перенести в вершину В, то заряды будут взаимодействовать с силой 18 мкН. Найдите отношение  $\frac{AC}{BC}$ .



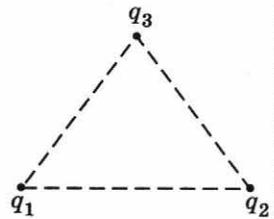
Дано:	Решение:
$F_1 = 50$ мкН $F_2 = 18$ мкН	<p>Согласно закону Кулона <math>F_1 = k \frac{Qq}{AC^2}</math> и <math>F_2 = k \frac{Qq}{AB^2}</math>.</p> <p>По теореме Пифагора <math>AB^2 = AC^2 + BC^2</math>.</p> $\frac{F_2}{F_1} = \frac{AC^2}{AB^2} = \frac{18}{50} = \frac{9}{25}$ <p>Таким образом,</p> $\frac{AC}{BC} = \frac{AC}{\sqrt{AB^2 - AC^2}} = \frac{AC}{\sqrt{\frac{25}{9}AC^2 - AC^2}} = \frac{3}{\sqrt{25-9}} = \frac{3}{4} = 0,75.$
$\frac{AC}{BC} = ?$	Ответ: <u>0,75</u> .

## Задачи для самостоятельного решения

- 1 Точечные заряды  $q_1 = 10$  нКл и  $q_2 = -30$  нКл находятся на некотором расстоянии друг от друга. Во сколько раз уменьшится модуль силы взаимодействия между ними, если их сначала привести в соприкосновение, а потом развести на прежнее расстояние?

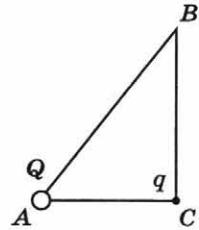
Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 2 Три одинаковые маленькие бусинки расположены в воздухе в вершинах правильного треугольника со стороной 20 см. Первая бусинка несёт заряд  $q_1 = 40$  нКл, вторая —  $q_2 = 30$  нКл, а третья —  $q_3 = 80$  нКл. С какой силой третья бусинка действует на первую?



Ответ: \_\_\_\_\_ мкН.

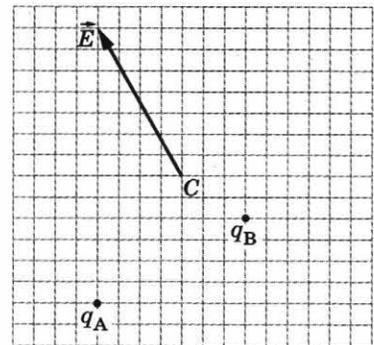
- 3 В вершине  $A$  прямоугольного треугольника  $ABC$  находится точечный заряд  $Q$  (см. рисунок). Он действует с силой 25 мкН на точечный заряд  $q$ , помещённый в вершину  $C$ . Определите, с какой силой будут взаимодействовать заряды, если заряд  $q$  перенести в вершину  $B$ . Отношение сторон  $\frac{AC}{AB} = 0,6$ .



Ответ: \_\_\_\_\_ мкН.

### Пример решения задачи

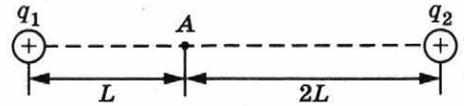
На рисунке показан вектор напряжённости  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $C$ , созданного двумя точечными зарядами  $q_A$  и  $q_B$ . Чему равен заряд  $q_B$ , если заряд  $q_A$  равен +5 нКл?



Дано:	Решение:
$q_A = +5$ нКл 	<p>Согласно принципу суперпозиции вектор напряжённости результирующего электрического поля равен <math>\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B</math>. Построим вектора напряжённостей электрических полей в точке <math>C</math> от точечных зарядов, расположенных в точках <math>A</math> и <math>B</math> (см. рисунок). Сложение векторов <math>\vec{E}_A</math> и <math>\vec{E}_B</math> производится по правилу параллелограмма, вектор <math>\vec{E}</math> является диагональю.</p> <p>Из рисунка видно, что <math>\vec{E}_B = 2\vec{E}_A</math>, так как длина вектора <math>\vec{E}_B</math> в 2 раза больше длины вектора <math>\vec{E}_A</math>.</p> <p>Напряжённость полей точечных зарядов определяется формулами <math>E_A = k \frac{q_A}{r_A^2}</math> и <math>E_B = k \frac{q_B}{r_B^2}</math>.</p> <p>Определим из рисунка расстояния <math>r_A</math> и <math>r_B</math> в «клетках»:  <math>r_A^2 = 6^2 + 4^2 = 52</math> и <math>r_B^2 = 2^2 + 3^2 = 13</math>.</p> <p>Таким образом, <math>\frac{r_A^2}{r_B^2} = \frac{52}{13} = 4</math>.</p> <p>В итоге <math>k \frac{q_B}{r_B^2} = 2k \frac{q_A}{r_A^2} \Rightarrow q_B = 2q_A \frac{r_A^2}{r_B^2} = 2q_A \frac{1}{4} = \frac{q_A}{2} = 2,5</math> нКл.</p>
$q_B = ?$	Ответ: _____ 2,5 _____ нКл.

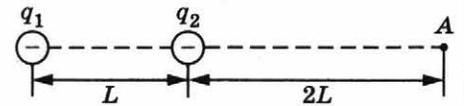
## Задачи для самостоятельного решения

- 4 Два точечных положительных заряда  $q_1 = 5$  нКл и  $q_2 = 10$  нКл находятся в вакууме. Определите напряжённость электростатического поля этих зарядов в точке  $A$ , расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $L$  от первого и  $2L$  от второго заряда.  $L = 30$  см (см. рисунок).



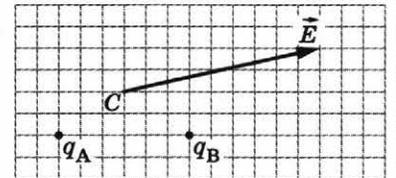
Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 5 Два точечных отрицательных заряда  $q_1 = -18$  нКл и  $q_2 = -4$  нКл находятся в вакууме на расстоянии  $L = 60$  см друг от друга. Определите напряжённость электростатического поля этих зарядов в точке  $A$ , расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $2L$  от второго заряда (см. рисунок).



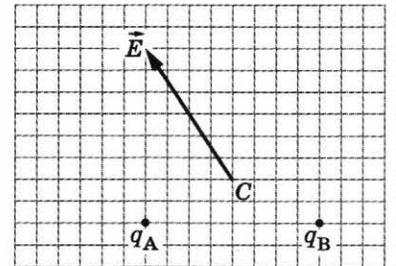
Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 6 На рисунке показан вектор напряжённости  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $C$ , созданного двумя точечными зарядами  $q_A$  и  $q_B$ . Чему равен заряд  $q_B$ , если заряд  $q_A$  равен  $+30$  нКл?



Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

- 7 На рисунке показан вектор напряжённости  $\vec{E}$  электростатического поля в точке  $C$ , созданного двумя точечными зарядами  $q_A$  и  $q_B$ . Чему равен заряд  $q_B$ , если заряд  $q_A$  равен  $+4$  нКл?



Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

## Пример решения задачи

Частица с зарядом  $5$  нКл находится в однородном горизонтальном электрическом поле напряжённостью  $200$  В/м. Чему равна масса частицы, если за  $3$  с она переместилась по горизонтали на расстояние  $1,8$  м? Спротивлением воздуха можно пренебречь.

Дано:	Решение:
$q = 5$ нКл $E = 200$ В/м $t = 3$ с $s = 1,8$ м	<p>На частицу со стороны электрического поля действует сила <math>F = qE</math>, в результате чего частица начинает равноускоренно двигаться по прямой.</p> <p>Согласно второму закону Ньютона <math>ma = F</math>.</p> <p>Перемещение частицы определяется по формуле <math>s = \frac{at^2}{2}</math>.</p> <p>Таким образом, <math>\frac{2sm}{t^2} = Eq</math>.</p> <p>В итоге <math>m = \frac{Eq t^2}{2s} = \frac{200 \cdot 5 \cdot 10^{-9} \cdot 3^2}{2 \cdot 1,8} = 2,5 \cdot 10^{-6} = 2,5</math> мг.</p>
$m = ?$	Ответ: _____ <u>2,5</u> _____ мг.

## Задачи для самостоятельного решения

- 8 Потенциал электростатического поля в точке  $A$  равен 300 В, потенциал в точке  $B$  равен 50 В. Какую работу совершает электростатическое поле при перемещении положительного заряда 2 мкКл из точки  $A$  в точку  $B$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

- 9 Разность потенциалов между точками, находящимися на расстоянии 20 см друг от друга на одной линии напряжённости однородного электростатического поля, равна 150 В. Чему равна напряжённость этого поля?

Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 10 В вертикальном однородном электрическом поле напряжённостью 500 В/м неподвижно висит пылинка, заряд которой 40 нКл. Чему равна масса пылинки?

Ответ: \_\_\_\_\_ мг.

- 11 Протон попадает в однородное электрическое поле напряжённостью 100 В/м. За какое время протон переместится на расстояние 3 м вдоль силовой линии электрического поля, если его начальная скорость равна нулю? Ответ (в мкс) округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

## Пример решения задачи

Две частицы с отношением зарядов  $\frac{q_2}{q_1} = 2$  и масс  $\frac{m_2}{m_1} = 4$  попадают в однородное электрическое поле. Начальная скорость у обеих частиц равна нулю. Определите отношение кинетических энергий этих частиц  $\frac{W_2}{W_1}$  в один и тот же момент времени после начала движения. Действием силы тяжести можно пренебречь.

Дано:	Решение:
$\frac{q_2}{q_1} = 2$ $\frac{m_2}{m_1} = 4$ $v_{01} = v_{02} = 0$ $t_1 = t_2$	<p>На частицу со стороны электрического поля действует сила <math>F = qE</math>, в результате чего частица начинает равноускоренно двигаться по прямой.</p> <p>Согласно второму закону Ньютона <math>ma = F</math>.</p> <p>Скорость частицы определяется формулой <math>v = at</math>, а её кинетическая энергия — <math>W = \frac{mv^2}{2}</math>.</p> <p>Таким образом, <math>W = \frac{(Eq_1t)^2}{2m}</math>.</p> <p>В итоге</p> $\frac{W_2}{W_1} = \frac{(Eq_2t)^2}{2m_2} \cdot \frac{2m_1}{(Eq_1t)^2} = \left(\frac{q_2}{q_1}\right)^2 \cdot \frac{m_1}{m_2} = 4 \cdot \frac{1}{4} = 1.$
$\frac{W_2}{W_1} = ?$	<p>Ответ: _____ 1 _____.</p>

## Задачи для самостоятельного решения

- 12 Пылинка массой 2 мг и зарядом  $5 \cdot 10^{-11}$  Кл влетела в однородное электрическое поле напряжённостью 20 кВ/м вдоль его силовых линий с начальной скоростью 10 м/с. На какое расстояние переместилась пылинка к тому моменту, когда её скорость увеличилась на 0,2 м/с? Действием силы тяжести и сопротивлением воздуха можно пренебречь. Ответ округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

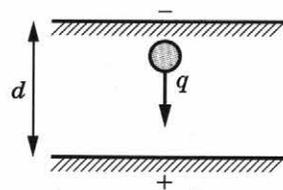
- 13 В однородное электрическое поле влетает протон со скоростью  $4 \cdot 10^6$  м/с и движется вдоль линий напряжённости поля. Какое расстояние пролетит протон до полной остановки, если модуль напряжённости поля равен 25 кВ/м? Ответ округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 14 Две частицы с отношением зарядов  $\frac{q_2}{q_1} = 2$  попадают в однородное электрическое поле. Начальная скорость у обеих частиц равна нулю. Определите отношение масс  $\frac{m_2}{m_1}$  этих частиц, если отношение их кинетических энергий в один и тот же момент времени после начала движения  $\frac{W_2}{W_1} = 2$ . Действием силы тяжести можно пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 15 Пластины плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии  $d = 3$  см друг от друга. Размеры пластин много больше расстояния между пластинами  $d$ . В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли 4 мг, её заряд  $q = 2$  нКл. При каком напряжении на пластинах конденсатора скорость капли будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли можно пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

## ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «ЭЛЕКТРОСТАТИКА»

- 1 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) кулоновская сила  $\vec{E}$ , действующая на отрицательный точечный заряд, помещённый в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды:  $+q, +q, -q, -q$  (см. рисунок)?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 2 Какое направление (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) имеет вектор напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля, созданного двумя разноимёнными зарядами, равными по модулю, в точке  $O$ , равноудалённой от зарядов (см. рисунок)? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 Два точечных заряда действуют друг на друга с силой 12 Н. Каким будет модуль силы взаимодействия между ними, если уменьшить каждый заряд в 2 раза, не меняя расстояния между ними?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

- 4 Силы взаимодействия между двумя точечными зарядами равны  $F$ . Каждый заряд увеличили в 4 раза. Во сколько раз нужно увеличить расстояние между зарядами, чтобы сила  $F$  не изменилась?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

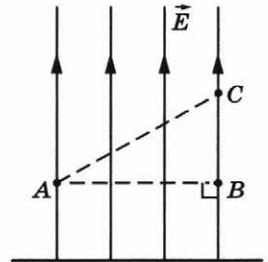
- 5 Во сколько раз уменьшится ёмкость плоского воздушного конденсатора, если площадь обкладок уменьшить в 2 раза, а расстояние между ними увеличить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 6 Во сколько раз увеличится энергия электрического поля конденсатора, если напряжение на его обкладках увеличить в 3 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 7 На рисунке изображены линии напряжённости однородного электростатического поля, образованного равномерно заряженной протяжённой пластиной. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

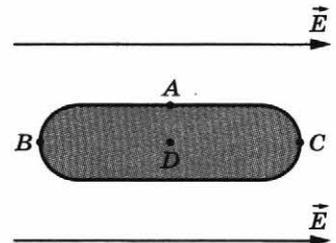


- 1) заряд пластины отрицательный
- 2) потенциал в точке  $A$  меньше, чем в точке  $C$
- 3) работа сил электрического поля по перемещению точечного отрицательного заряда из точки  $A$  в точку  $B$  отрицательна
- 4) если в точку  $B$  поместить точечный положительный заряд, то на него со стороны пластины будет действовать сила, направленная вертикально вверх
- 5) напряжённость в точках  $A$ ,  $B$  и  $C$  одинакова

Ответ:

--	--

- 8 Металлическое тело, продольное сечение которого показано на рисунке, поместили в однородное электрическое поле напряжённостью  $\vec{E}$ . Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения, описывающие результаты воздействия этого поля на металлическое тело, и укажите их номера.



- 1) напряжённость электрического поля в точке  $D$  не равна нулю
- 2) потенциалы в точках  $A$  и  $B$  равны
- 3) концентрация свободных электронов в точке  $D$  наибольшая
- 4) в точке  $C$  индуцируется положительный заряд
- 5) в точке  $A$  индуцируется отрицательный заряд

Ответ:

--	--

- 9 Плоский конденсатор с воздушным зазором между обкладками подключён к источнику постоянного напряжения. Как изменятся при уменьшении зазора между обкладками конденсатора его ёмкость и заряд на его обкладках?

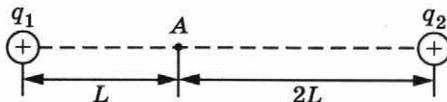
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

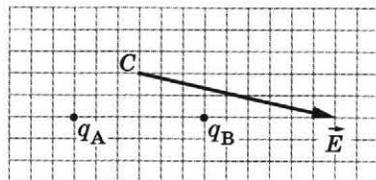
Ёмкость конденсатора	Заряд конденсатора

- 10 Два неподвижных точечных положительных заряда  $q_1 = 200$  нКл и  $q_2 = 400$  нКл находятся в вакууме. Определите напряжённость электрического поля этих зарядов в точке  $A$ , расположенной на прямой, соединяющей заряды, на расстоянии  $L$  от первого и  $2L$  от второго заряда.  $L = 1,5$  м.



Ответ: \_\_\_\_\_ В/м.

- 11 На рисунке изображён вектор напряжённости  $\vec{E}$  электрического поля в точке  $C$ , которое создано двумя точечными зарядами  $q_A$  и  $q_B$ . Чему равен заряд  $q_B$ , если заряд  $q_A$  равен  $+1$  нКл?

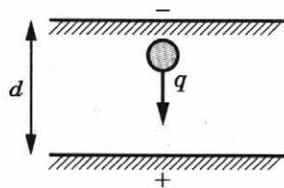


Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

- 12 В электрическом поле, вектор напряжённости которого направлен горизонтально и равен по модулю  $10^5$  В/м, нить с подвешенным на ней маленьким заряженным шариком отклонилась на угол  $45^\circ$  от вертикали. Масса шарика  $1,4$  г. Чему равен заряд шарика? Ответ выразите в микрокулонах и округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкКл.

- 13 Пластины большого по размерам плоского конденсатора расположены горизонтально на расстоянии  $d$  друг от друга. Напряжение на пластинах конденсатора  $5000$  В. В пространстве между пластинами падает капля жидкости. Масса капли  $4 \cdot 10^{-6}$  кг, её заряд  $q = 8 \cdot 10^{-11}$  Кл. При каком расстоянии между пластинами скорость капли будет постоянной? Влиянием воздуха на движение капли можно пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

## Уроки 41–45. Постоянный ток

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 3.2. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

3.2.1. **Сила тока** – скалярная физическая величина, описывающая скорость изменения заряда:

$$I = \left. \frac{\Delta q}{\Delta t} \right|_{\Delta t \rightarrow 0}.$$

**Постоянный ток:**  $I = \text{const}$ . В цепи постоянного тока за время  $t$  протекает заряд  $q = It$ .

## 3.2.2. Условия существования постоянного электрического тока.

- 1) Электрическая цепь должна быть замкнутой.
- 2) Поскольку свободные носители заряда в проводнике испытывают сопротивление своему упорядоченному движению (за исключением случая сверхпроводимости), для поддержания этого движения нужны внешние силы, т. е. напряжённость электрического поля в проводнике должна быть отлична от нуля. Поэтому между концами любого участка цепи существует **напряжение**. Для компенсации потерь энергии свободных носителей заряда сторонние силы должны совершать работу. Работа этих сил при перемещении заряда по замкнутому контуру должна быть положительна, поэтому сторонние силы непотенциальны. Работа сторонних сил в электрической цепи характеризуется скалярной физической величиной — **ЭДС** (см. ниже).

3.2.3. **Закон Ома для участка цепи**, на котором не действуют сторонние силы, описывает зависимость силы тока  $I$  от напряжения  $U$  на концах участка:  $I = \frac{U}{R}$ , где  $R$  — сопротивление этого участка, определяемое свойствами самого участка и не зависящее от напряжения  $U$ . Действительно, прямая пропорциональная зависимость силы тока от напряжения экспериментально наблюдается в ряде случаев, в том числе в твёрдых металлических проводниках, если их температура постоянна или меняется незначительно. Это происходит, если ток слишком мал, чтобы вызывать заметный нагрев участка. В то же время во многих других случаях, например в ионизированных газах, зависимость  $I(U)$  (вольт-амперная характеристика) выглядит существенно иначе.

3.2.4. **Электрическое сопротивление** (или просто сопротивление) зависит от геометрии проводника и от свойств вещества, из которого он сделан. Сопротивление  $R$  длинного однородного проводника постоянного поперечного сечения  $S$  и длиной  $l$  равно  $R = \rho \frac{l}{S}$ ,

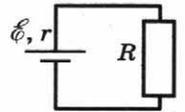
где  $\rho$  — **удельное сопротивление** материала проводника. Величина  $\rho$  зависит от температуры: с повышением температуры величина  $\rho$  в случае твёрдых металлов увеличивается, а в случае растворов и расплавов электролитов уменьшается. Поэтому табличные значения  $\rho$  сопровождаются указанием, к какой температуре они относятся.

3.2.5. Та часть электрической цепи, где действуют сторонние силы, называется **источником тока**. Сторонние силы могут действовать как на коротком участке цепи (как в случае гальванического элемента), так и во всей цепи (как в случае явления электромагнитной индукции). Сторонние силы в источнике тока при про-

хождении по нему заряда  $q$  совершают работу  $A_{\text{сторонних сил}}$  при этом **ЭДС источника тока**  $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{сторонних сил}}}{q}$ .

Работа сторонних сил считается положительной, если внутри источника заряд  $q > 0$  переносится от отрицательного полюса к положительному. Наряду с ЭДС  $\mathcal{E}$  источник тока характеризуется **внутренним сопротивлением**  $r$ , которое учитывается в электрической цепи наравне с сопротивлением остальных элементов.

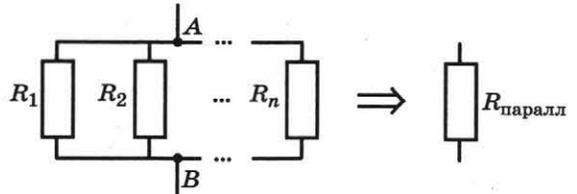
3.2.6. Пусть электрическая цепь состоит из источника тока (с ЭДС  $\mathcal{E}$  и внутренним сопротивлением  $r$ ) и внешней цепи в виде резистора сопротивлением  $R$ . Из закона сохранения энергии следует, что при протекании по цепи заряда  $q$  работа сторонних сил  $A_{\text{сторонних сил}} = q\mathcal{E}$  расходуется на работу тока, протекающего через  $R$  и  $r$ :  $q\mathcal{E} = qU_R + qU_r$ , откуда  $\mathcal{E} = U_R + U_r$ .



Обобщением этого результата служит так называемое второе правило Кирхгофа: в любом замкнутом контуре, выбранном в произвольной разветвлённой электрической цепи, алгебраическая сумма ЭДС равна сумме напряжений на элементах контура, включая внутреннее сопротивление источников тока. Первое правило Кирхгофа: поскольку в узлах (разветвлениях) цепи заряд не накапливается, алгебраическая сумма токов, входящих в узел, равна нулю.

Из закона Ома для участка цепи (без сторонних сил) следует, что  $U_R = IR$ ,  $U_r = Ir$ . Подставляя эти результаты в предыдущее выражение, получаем **закон Ома для полной (замкнутой) электрической цепи**:  $\mathcal{E} = IR + Ir$ , откуда  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ .

3.2.7. **Параллельное соединение проводников.** Соединим параллельно резисторы  $R_1, R_2, \dots, R_n$  (см. рисунок). Вычислим сопротивление  $R_{\text{паралл}}$  этой системы резисторов.



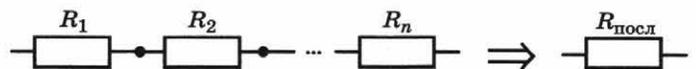
Напряжение на всех резисторах одинаково:  $U_1 = U_2 = \dots = U_n = U$ .

Ток  $I$ , входящий в эту цепь через точку  $A$  и выходящий через точку  $B$ , равен сумме токов, протекающих через резисторы:  $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ .

По закону Ома для участка цепи ток через любой из резисторов  $I_k = \frac{U}{R_k}$ , поэтому  $\frac{U}{R_{\text{паралл}}} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \dots + \frac{U}{R_n}$ , откуда  $\frac{1}{R_{\text{паралл}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ .

**Последовательное соединение проводников.** Соединим последовательно резисторы  $R_1, R_2, \dots, R_n$  (см. рисунок). Вычислим сопротивление  $R_{\text{послед}}$  этой системы резисторов.

Напряжение на концах цепочки резисторов равно сумме напряжений на каждом резисторе:



$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

При последовательном соединении через резисторы течёт одинаковый ток:  $I_1 = I_2 = \dots = I_n = I$ .

Из закона Ома для участка цепи следует, что напряжение на каждом резисторе  $U_k = IR_k$ , поэтому  $U = IR_{\text{послед}} = IR_1 + IR_2 + \dots + IR_n$ , откуда  $R_{\text{послед}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ .

**3.2.8. Работа постоянного электрического тока.** Если напряжение на концах участка цепи равно  $U$ , то электрическое поле при переносе заряда  $q$  по этому участку совершает работу  $A = qU$ . В случае постоянного тока за время  $t$  по цепи протекает заряд  $q = It$ , поэтому работа электрического поля при протекании постоянного тока (часто говорят: работа тока) равна  $A = IUt$ .

**Закон Джоуля–Ленца.** При протекании тока через резистор согласно закону Ома для участка цепи  $U = IR$ . Кроме того, вся затраченная работа при протекании тока через резистор превращается в тепло. Поэтому за время  $t$  на резисторе  $R$  при протекании постоянного тока  $I$  выделяется количество теплоты  $Q = I^2Rt$ .

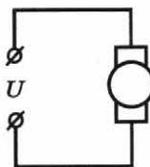
**3.2.9. Мощность электрического тока.** Исходя из выражения для работы электрического поля при протекании тока  $A = IUt$ , получаем, что расходуемая мощность тока  $P = \frac{\Delta A}{\Delta t} \Big|_{\Delta t \rightarrow 0} = IU$ .

**Мощность, выделяемая на резисторе.** Из закона Джоуля–Ленца ( $Q = I^2Rt$ ) следует, что выделяемая на резисторе мощность  $P = I^2R$ .

Из закона Ома для участка цепи ( $I = \frac{U}{R}$ ) следует, что выделяемую на резисторе мощность можно равносильно представить следующими формулами:

$$P = I^2R = IU = \frac{U^2}{R}.$$

**Замечание.** Если напряжение  $U$  приложено к концам участка цепи, содержащего, например, электродвигатель постоянного тока, то в обмотках электродвигателя при его работе создаётся ЭДС индукции. Поэтому ток  $I$  в цепи и сопротивление обмоток  $R$  подчиняются неравенству  $IR < U$ , потребляемая мощность  $P = IU$ , выделяемая в обмотках мощность  $P_Q = I^2R < P$ , а механическая мощность электродвигателя  $P_{\text{мех}} = P - P_Q = IU - I^2R > 0$ .

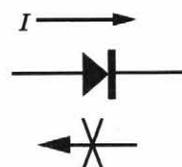


**Мощность источника тока:**  $P_{\mathcal{E}} = \frac{\Delta A_{\text{сторонних сил}}}{\Delta t} \Big|_{\Delta t \rightarrow 0} = \mathcal{E}I$ .

**3.2.10. Свободные носители электрических зарядов в проводниках.** В твёрдых металлах это электроны, в растворах и расплавах электролитов — положительные и отрицательные ионы. Газы из нейтральных молекул не проводят электрический ток. Они становятся проводниками только при ионизации. Свободными носителями зарядов в ионизированных газах являются электроны, а также положительные и, возможно, отрицательные ионы. Во всех проводящих средах электрический ток представляет собой упорядоченное движение свободных носителей заряда, происходящее на фоне их хаотического теплового движения.

**Полупроводники** — вещества, занимающие по своему удельному сопротивлению промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Удельное сопротивление полупроводников быстро убывает с ростом температуры и сильно зависит от концентрации примесей в составе вещества, а также от воздействия различных излучений.

**Полупроводниковый диод** — устройство из двух частей в контакте друг с другом. Одна часть представляет собой полупроводник  $n$ -типа, а другая — полупроводник  $p$ -типа. Из-за этого полу-



проводниковый диод обладает односторонней проводимостью: проводит ток от  $p$ -полупроводника к  $n$ -полупроводнику и практически не проводит ток в обратном направлении. Обозначение полупроводникового диода в электрических схемах показано на рисунке.

Там же показано, в каком направлении диод проводит ток.

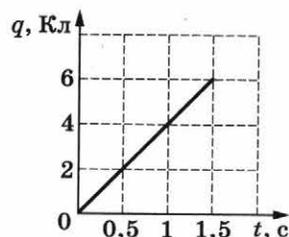
## Задания для самостоятельной работы

### ЗАДАНИЕ 14 ЧАСТИ 1

#### Сила тока

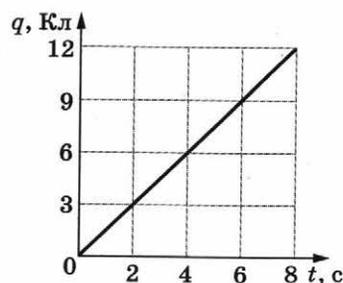
- 1 По проводнику течёт постоянный электрический ток. Заряд, проходящий через проводник, возрастает с течением времени согласно графику (см. рисунок). Сила тока в проводнике равна

Ответ: \_\_\_\_\_ А.



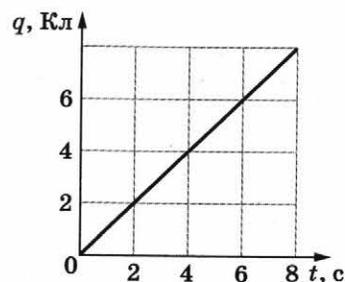
- 2 По проводнику течёт постоянный электрический ток. Заряд, прошедший через проводник, растёт с течением времени согласно представленному графику (см. рисунок). Сила тока в проводнике равна

Ответ: \_\_\_\_\_ А.



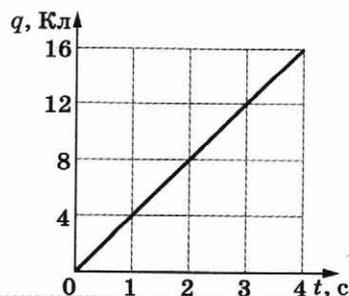
- 3 По проводнику течёт постоянный электрический ток. Заряд, прошедший через проводник, растёт с течением времени согласно представленному графику (см. рисунок). Сила тока в проводнике равна

Ответ: \_\_\_\_\_ А.



- 4 По проводнику течёт постоянный электрический ток. Заряд, прошедший через поперечное сечение проводника, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Сила тока в проводнике равна

Ответ: \_\_\_\_\_ А.



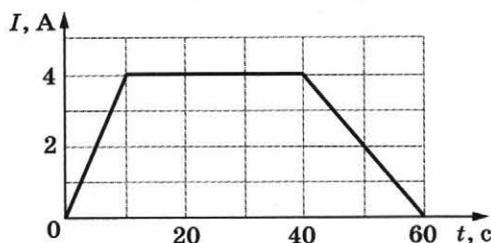
5 Сколько времени длится молния, если через поперечное сечение её канала протекает заряд 30 Кл, а сила тока в среднем равна 24 кА?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

6 Сила тока, текущего по проводнику, равна 4 А. Какой заряд пройдёт по проводнику за 5 с?

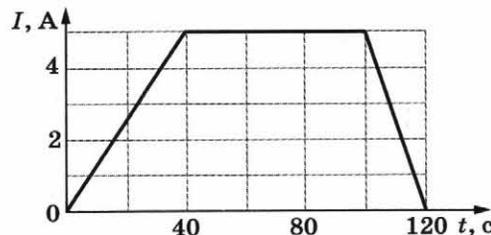
Ответ: \_\_\_\_\_ Кл.

7 На графике (см. рисунок) показана зависимость силы тока  $I$  в проводнике от времени  $t$ . Определите заряд, прошедший через проводник за  $\Delta t = 60$  с с момента начала отсчёта времени.



Ответ: \_\_\_\_\_ Кл.

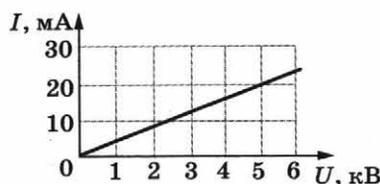
8 На графике (см. рисунок) показана зависимость силы тока  $I$  в проводнике от времени  $t$ . Определите заряд, прошедший через проводник за  $\Delta t = 120$  с с момента начала отсчёта времени.



Ответ: \_\_\_\_\_ Кл.

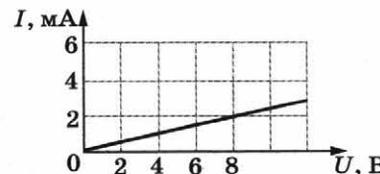
### Закон Ома для участка цепи

1 На рисунке изображён график зависимости силы тока от напряжения на одной из секций телевизора. Чему равно сопротивление этой секции?



Ответ: \_\_\_\_\_ кОм.

2 На рисунке изображён график зависимости силы тока в проводнике от напряжения между его концами. Чему равно сопротивление проводника?



Ответ: \_\_\_\_\_ кОм.

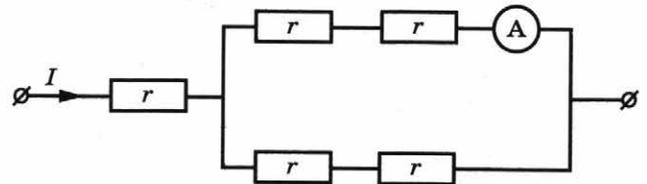
3 Во сколько раз увеличится сила тока, протекающего через медный провод постоянного сечения, если увеличить в 2 раза напряжение на его концах, а длину этого провода уменьшить в 2 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 4 Длину медного провода, подключённого к источнику тока, увеличили в 2 раза. Во сколько раз нужно увеличить напряжение между концами провода, чтобы сила тока, текущего через него, не изменилась?

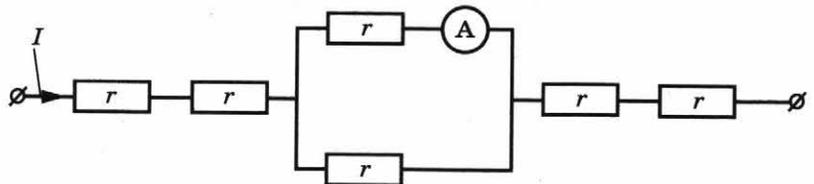
Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 5 Через участок цепи (см. рисунок) течёт постоянный ток  $I = 6$  А. Чему равна сила тока, которую показывает амперметр? Сопротивлением амперметра можно пренебречь.



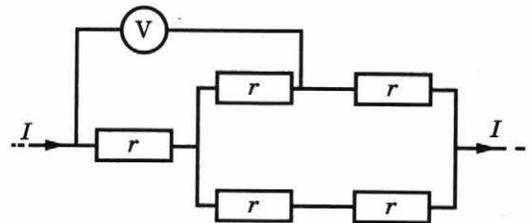
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 6 Через участок электрической цепи (см. рисунок) течёт постоянный ток  $I = 5$  А. Что показывает амперметр, если сопротивление  $r = 1$  Ом? Сопротивлением амперметра можно пренебречь.



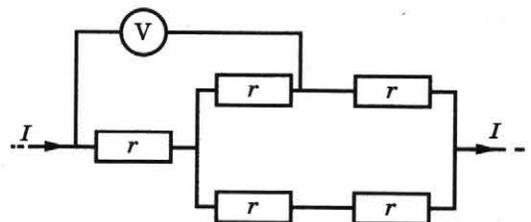
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 7 Пять одинаковых резисторов сопротивлением 1 Ом соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I = 2$  А (см. рисунок). Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



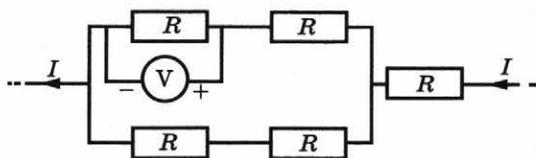
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

- 8 Пять одинаковых резисторов сопротивлением 2 Ом соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I$  (см. рисунок). Идеальный вольтметр показывает напряжение 9 В. Чему равна сила тока  $I$ ?



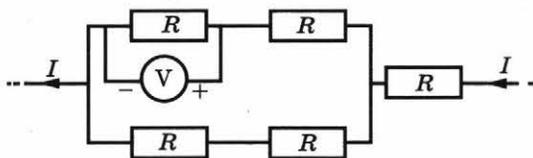
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

9 Пять одинаковых резисторов сопротивлением 10 Ом каждый соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I = 6$  А (см. рисунок). Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



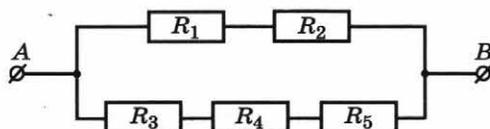
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

10 Пять одинаковых резисторов соединены в электрическую цепь, через которую течёт ток  $I = 6$  А (см. рисунок). Идеальный вольтметр показывает напряжение  $U = 15$  В. Чему равно сопротивление одного резистора?



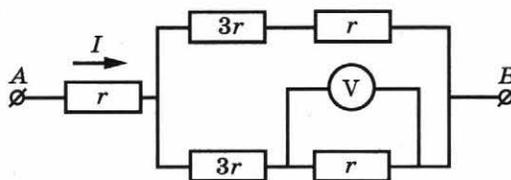
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

11 Сопротивление каждого резистора в схеме участка цепи на рисунке равно 100 Ом. При подключении участка к источнику постоянного напряжения 12 В выводами  $A$  и  $B$  напряжение на резисторе  $R_2$  равно



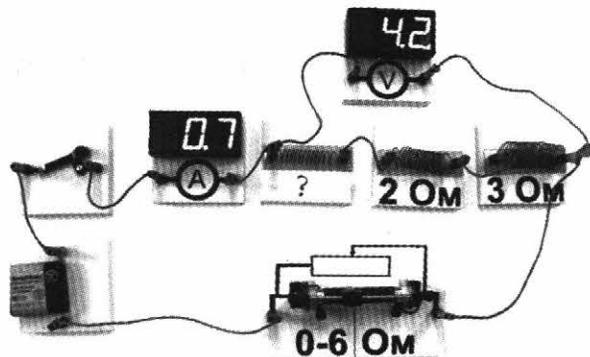
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

12 На рисунке показана схема участка электрической цепи. По участку  $AB$  течёт постоянный ток  $I = 4$  А. Какое напряжение показывает идеальный вольтметр, если сопротивление  $r = 1$  Ом?



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

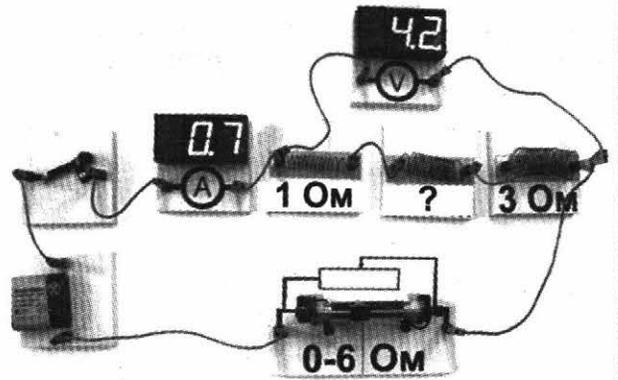
13 На рисунке представлена электрическая цепь. Показания вольтметра даны в вольтах, амперметра — в амперах. Чему равно сопротивление неизвестного резистора? Вольтметр и амперметр считать идеальными.



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

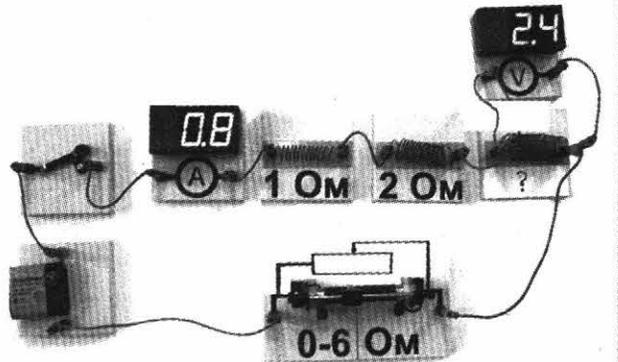
- 14 На рисунке представлена электрическая цепь. Показания вольтметра даны в вольтах, амперметра — в амперах. Чему равно сопротивление неизвестного резистора? Вольтметр и амперметр считать идеальными.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



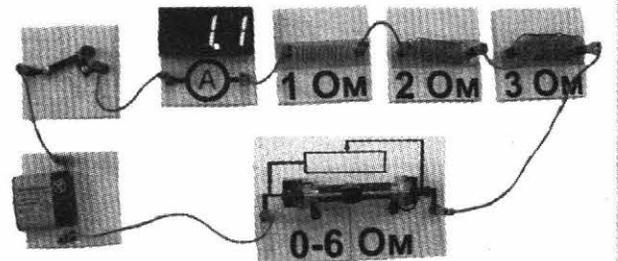
- 15 На рисунке представлена электрическая цепь. Показания вольтметра даны в вольтах, амперметра — в амперах. Чему равно сопротивление неизвестного резистора? Вольтметр и амперметр считать идеальными.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



- 16 На рисунке — электрическая цепь. Показания включённого в цепь амперметра даны в амперах. Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если его подключить параллельно резистору 3 Ом?

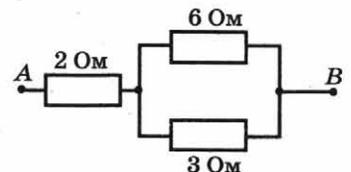
Ответ: \_\_\_\_\_ В.



### Последовательное и параллельное соединение проводников

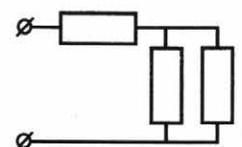
- 1 Определите сопротивление участка цепи, изображённого на схеме (см. рисунок), между точками *A* и *B*.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

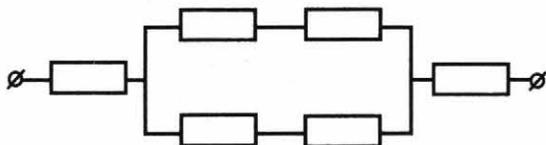


- 2 В участке цепи, изображённом на рисунке, сопротивление каждого резистора 3 Ом. Найдите общее сопротивление участка.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



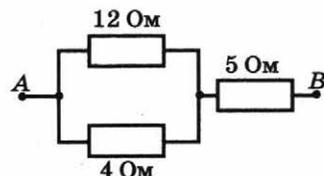
3 На участке цепи, изображённом на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно 4 Ом. Определите полное сопротивление участка цепи.



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

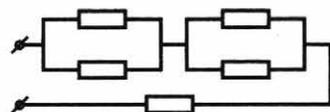
4 Сопротивление между точками *A* и *B* электрической цепи, представленной на рисунке, равно

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



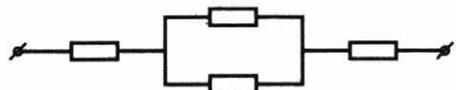
5 В участке цепи, изображённом на рисунке, сопротивление каждого резистора 8 Ом. Найдите общее сопротивление участка.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



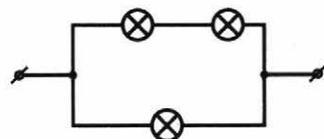
6 В участке цепи, изображённом на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно 2 Ом. Полное сопротивление участка равно

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



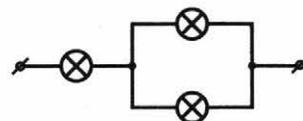
7 На рисунке показан участок цепи постоянного тока, содержащий три лампочки накаливания. Если сопротивление каждой лампочки 21 Ом, то сопротивление всего участка цепи равно

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



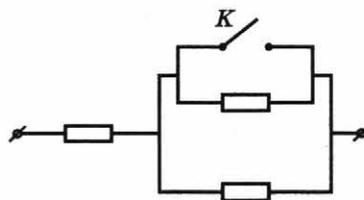
8 На рисунке показан участок цепи постоянного тока, содержащий три лампочки накаливания. Если сопротивление каждой лампочки 12 Ом, то сопротивление всего участка цепи равно

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



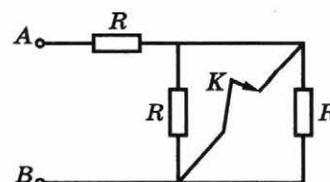
9 Каждый из резисторов в схеме, изображённой на рисунке, имеет сопротивление 150 Ом. Каким будет сопротивление участка цепи, если ключ *K* замкнуть?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

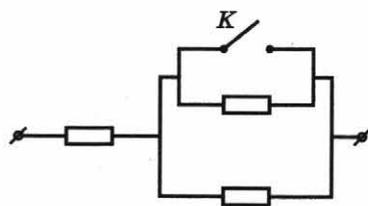


10 На сколько увеличится сопротивление участка цепи *AB*, изображённого на рисунке, если ключ *K* разомкнуть? Сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.

Ответ: на \_\_\_\_\_ Ом.



- 11 Каким будет сопротивление участка цепи (см. рисунок), если ключ  $K$  замкнуть? (Каждый из резисторов имеет сопротивление 10 Ом.)



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 12 Участок цепи состоит из четырёх последовательно соединённых резисторов, сопротивления которых равны 10, 20, 30 и 40 Ом. Каким должно быть сопротивление пятого резистора, добавленного в этот участок последовательно к первым четырём, чтобы суммарное сопротивление участка увеличилось в 3 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 13 Первый конденсатор ёмкостью  $4C$  подключён к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , а второй ёмкостью  $C$  подключён к источнику с ЭДС  $2\mathcal{E}$ . Определите отношение энергии электрического поля второго конденсатора к энергии электрического поля первого.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 14 Участок цепи состоит из двух последовательно соединённых цилиндрических проводников, сопротивление первого из которых равно  $R$ , а второго  $2R$ . Во сколько раз увеличится общее сопротивление этого участка, если удельное сопротивление и длину первого проводника увеличить вдвое?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 15 Участок цепи состоит из двух последовательно соединённых цилиндрических проводников, сопротивление первого из которых равно  $4R$ , а второго  $2R$ . Во сколько раз уменьшится общее сопротивление этого участка, если удельное сопротивление и длину первого проводника уменьшить вдвое?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

### Работа и мощность тока, закон Джоуля—Ленца

- 1 При прохождении по проводнику электрического тока 5 А в течение 2 мин совершается работа 150 кДж. Чему равно сопротивление проводника?

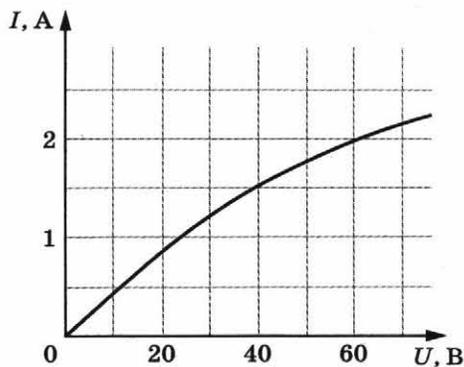
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 2 Чему равно время прохождения тока по проводнику, если при напряжении на его концах 120 В совершается работа 540 кДж? Сопротивление проводника 24 Ом.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

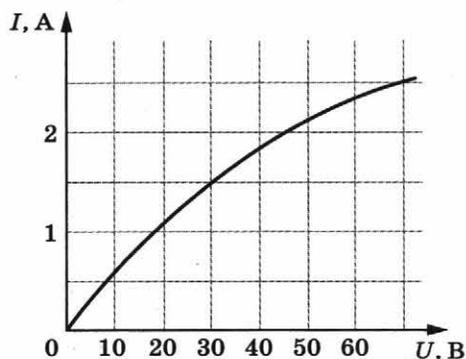
3 На рисунке показан график зависимости силы тока в лампе накаливания от напряжения на её клеммах. Какую работу совершает ток в лампе за 3 с при силе тока 2 А?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.



4 На рисунке показан график зависимости силы тока в лампе накаливания от напряжения на её клеммах. Чему равна мощность тока в лампе при силе тока 1,5 А?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.



5 На плавком предохранителе счётчика электроэнергии указано: «15 А, 380 В». Чему равна максимальная суммарная мощность электрических приборов, которые можно одновременно включать в сеть, чтобы предохранитель не расплавился?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

6 На плавком предохранителе счётчика электроэнергии указано: «10 А, 220 В». Чему равна максимальная суммарная мощность электрических приборов, которые можно одновременно включать в сеть, чтобы предохранитель не расплавился?

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

7 В цепи из двух одинаковых последовательно включённых резисторов за час выделяется количество теплоты, равное 200 Дж. Какое количество теплоты будет выделяться за час в цепи, в которой число резисторов и подводимое к ним напряжение увеличено в 3 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

8 В цепи из двух одинаковых последовательно включённых резисторов за час выделяется количество теплоты, равное 250 Дж. Какое количество теплоты будет выделяться в цепи из этих резисторов за час, если их включить параллельно, а подводимое к ним напряжение уменьшить в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

9 В цепи из двух одинаковых последовательно включённых резисторов за час выделяется количество теплоты  $Q_1$ , если к цепи подводится напряжение  $U$ . В цепи из пяти таких же резисторов, соединённых последовательно, за час выделяется количество теплоты  $Q_2$ , если к этой цепи подводится напряжение  $3U$ . Чему равно отношение  $\frac{Q_2}{Q_1}$  ?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

10 В цепи из трёх одинаковых последовательно включённых резисторов за час выделяется количество теплоты  $Q_1$ , если к цепи подводится напряжение  $U$ . В цепи из двух таких же резисторов, соединённых последовательно, за час выделяется количество теплоты  $Q_2$ , если к этой цепи подводится напряжение  $5U$ . Чему равно отношение  $\frac{Q_2}{Q_1}$  ?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

11 В электронагревателе с неизменным сопротивлением спирали, через который течёт постоянный ток, за время  $t$  выделяется количество теплоты  $Q$ . Во сколько раз увеличится количество теплоты, выделившейся в нагревателе, если силу тока увеличить вдвое, а время  $t$  в 2 раза уменьшить?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

12 В электронагревателе, через который течёт постоянный ток, за время  $t$  выделяется количество теплоты  $Q$ . Во сколько раз увеличится количество выделившейся теплоты, если сопротивление нагревателя и время  $t$  увеличить вдвое, не изменяя силу тока?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

### ЗАДАНИЕ 16 ЧАСТИ 1

1 В первом опыте по проволочному резистору течёт ток. Во втором опыте его заменили на другой резистор из проволоки того же сечения из того же металла, но вдвое большей длины. Через второй резистор пропустили вдвое меньший ток.

Выберите **два** верных утверждения о физических величинах, характеризующих этот процесс.

- 1) мощность, выделяемая на резисторе, осталась прежней
- 2) сопротивление резистора увеличилось в 2 раза
- 3) сопротивление резистора в 2 раза уменьшилось
- 4) напряжение на резисторе в 2 раза уменьшилось
- 5) мощность, выделяемая на резисторе, уменьшилась в 2 раза

Ответ:

--	--

- 2 По проволочному резистору течёт ток. Резистор заменили на другой, с проволокой из того же металла и той же длины, но имеющей вдвое меньшую площадь поперечного сечения, и пропустили через него вдвое меньший ток.

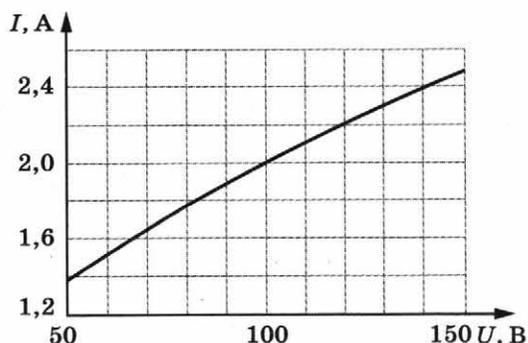
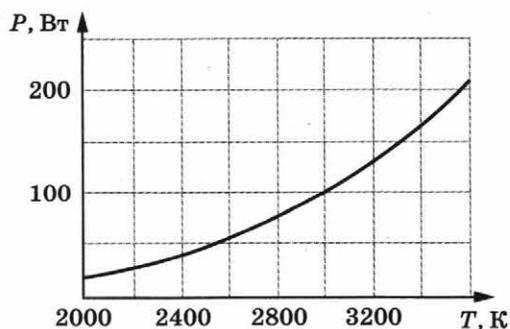
Выберите **два** верных утверждения о физических величинах, характеризующих этот процесс.

- 1) сопротивление резистора увеличилось в 2 раза
- 2) мощность, выделяемая на резисторе, осталась прежней
- 3) сопротивление резистора в 2 раза уменьшилось
- 4) напряжение на резисторе не изменилось
- 5) мощность, выделяемая на резисторе, увеличилась в 2 раза

Ответ:

--	--

- 3 При нагревании спирали лампы накаливания протекающим по ней электрическим током основная часть подводимой энергии теряется в виде теплового излучения. На рисунке изображены графики зависимости мощности тепловых потерь лампы от температуры спирали  $P = P(T)$  и силы тока от приложенного напряжения  $I = I(U)$ .



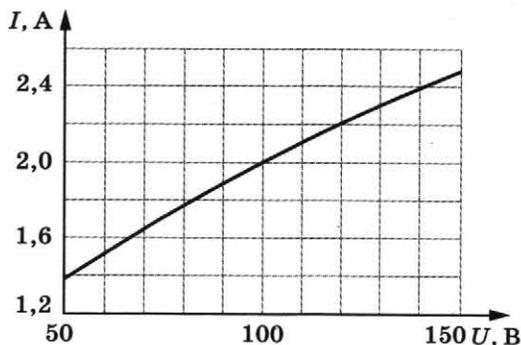
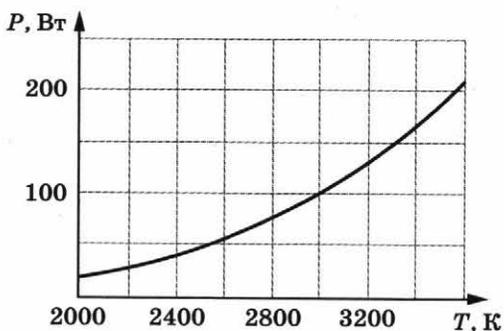
Выберите **два** верных утверждения о физических величинах, характеризующих этот процесс.

- 1) при напряжении на лампе 80 В мощность, выделяемая на лампе, равна 80 Вт
- 2) при мощности тепловых потерь 150 Вт температура нити накала лампы менее 3000 К
- 3) при силе тока через лампу 2 А температура нити накала составляет около 3600 К
- 4) с увеличением силы тока через лампу температура её спирали увеличивается
- 5) при мощности тепловых потерь 100 Вт напряжение на лампе составляет 100 В

Ответ:

--	--

- 4 При нагревании спирали лампы накаливания протекающим по ней электрическим током основная часть подводимой энергии теряется в виде теплового излучения. На рисунке изображены графики зависимости мощности тепловых потерь лампы от температуры спирали  $P = P(T)$  и силы тока от приложенного напряжения  $I = I(U)$ .



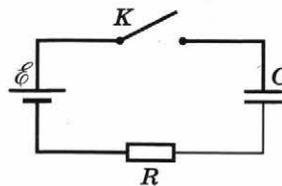
Выберите **два** верных утверждения о физических величинах, характеризующих этот процесс.

- 1) с увеличением напряжения на лампе температура её спирали увеличивается
- 2) при мощности тепловых потерь 50 Вт температура нити накала лампы более 2800 К
- 3) при силе тока через лампу 1,5 А температура нити накала составляет менее 3000 К
- 4) при напряжении на лампе 100 В мощность, выделяемая на лампе, равна 80 Вт
- 5) при мощности тепловых потерь 150 Вт напряжение на лампе составляет 100 В

Ответ:

--	--

- 5 Конденсатор подключён к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20$  кОм (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью  $\pm 1$  мкА, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{ мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

Выберите **два** утверждения, соответствующие результатам этого опыта, и укажите их номера. Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов можно пренебречь.

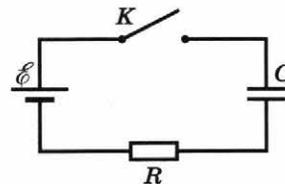
- 1) в течение первой секунды ток через резистор не течёт
- 2) в момент времени  $t = 2$  с напряжение на конденсаторе равно 5,2 В
- 3) в течение всего времени наблюдения конденсатор заряжается

- 4) ЭДС источника тока равна 12 В  
 5) в момент времени  $t = 4$  с напряжение на конденсаторе равно 4,9 В

Ответ:

--	--

- 6 Конденсатор подключён к источнику тока последовательно с резистором  $R = 20$  кОм (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  ключ замыкают. В этот момент конденсатор полностью разряжен. Результаты измерений силы тока в цепи, выполненных с точностью  $\pm 1$  мкА, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	1	2	3	4	5	6
$I, \text{ мкА}$	300	110	40	15	5	2	1

Выберите **два** утверждения, соответствующие результатам этого опыта, и укажите их номера. Внутренним сопротивлением источника и сопротивлением проводов можно пренебречь.

- 1) ЭДС источника тока равна 6 В
- 2) к моменту времени  $t = 2$  с конденсатор полностью заряжен
- 3) в момент времени  $t = 3$  с напряжение на конденсаторе равно 0,3 В
- 4) напряжение на резисторе с течением времени монотонно возрастает
- 5) в момент времени  $t = 4$  с напряжение на конденсаторе равно 5,9 В

Ответ:

--	--

### ЗАДАНИЕ 17 ЧАСТИ 1

- 1 Неразветвлённая электрическая цепь состоит из источника постоянного напряжения и внешнего сопротивления. Как изменятся при увеличении внутреннего сопротивления источника сила тока во внешней цепи и напряжение на внешнем сопротивлении?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

<b>Сила тока во внешней цепи</b>	<b>Напряжение на внешнем сопротивлении</b>

- 2 Неразветвлённая электрическая цепь постоянного тока состоит из источника тока и подключённого к его выводам внешнего резистора. Как изменятся при уменьшении сопротивления резистора сила тока в цепи и ЭДС источника?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Сила тока в цепи	ЭДС источника

- 3 По проволочному резистору течёт ток. Резистор заменили на другой, с проволокой из того же металла и того же поперечного сечения, но вдвое меньшей длины, и пропустили через него вдвое меньший ток. Как изменятся при этом напряжение на резисторе и его сопротивление?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Напряжение на резисторе	Сопротивление резистора

- 4 По проволочному резистору течёт ток. Как изменятся при уменьшении длины проволоки в 4 раза и увеличении силы тока вдвое мощность, выделяющаяся на резисторе, и его электрическое сопротивление?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Мощность, выделяющаяся на резисторе	Электрическое сопротивление резистора

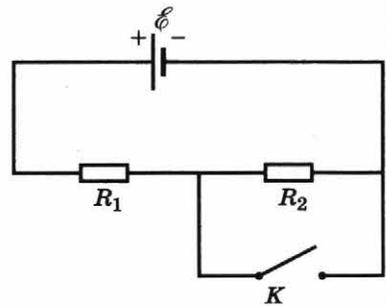
- 5 На рисунке показана цепь постоянного тока, содержащая источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и два резистора:  $R_1$  и  $R_2$ . Если ключ  $K$  замкнуть, то как изме-

нятся сила тока через резистор  $R_1$  и суммарная мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи? Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



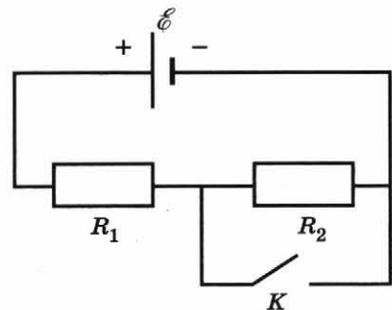
Сила тока через резистор $R_1$	Суммарная мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи

6 На рисунке показана цепь постоянного тока, содержащая источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  и два резистора:  $R_1$  и  $R_2$ . Если ключ  $K$  замкнуть, то как изменятся при этом сила тока через резистор  $R_1$  и напряжение на резисторе  $R_2$ ? Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

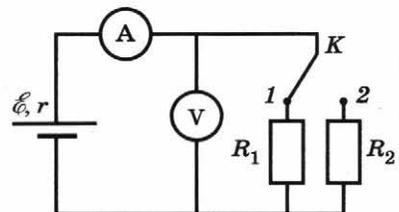
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Сила тока через резистор $R_1$	Напряжение на резисторе $R_2$

7 В схеме, показанной на рисунке,  $R_1 > R_2$ . Что произойдёт с показаниями амперметра и вольтметра после переключения ключа  $K$  из положения 1 в положение 2? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

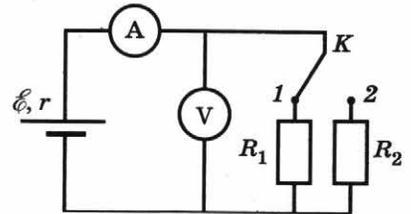
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится



Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Показания амперметра	Показания вольтметра

- 8 В схеме, показанной на рисунке,  $R_1 < R_2$ . Что произойдёт с показаниями амперметра и вольтметра после переключения ключа  $K$  из положения 1 в положение 2? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:



- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Показания амперметра	Показания вольтметра

## ЗАДАНИЕ 18 ЧАСТИ 1

- 1 Установите соответствие между формулами для расчёта физических величин в цепях постоянного тока и названиями этих величин. В формулах использованы обозначения:  $W$  — мощность тока в резисторе;  $I$  — сила тока;  $U$  — напряжение на резисторе.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФОРМУЛЫ

А)  $\frac{W}{U}$

Б)  $IU$

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1) сила тока через резистор

2) напряжение на резисторе

3) мощность тока в резисторе

4) сопротивление резистора

Ответ:

А	Б

- 2 Установите соответствие между формулами для расчёта физических величин в цепях постоянного тока и названиями этих величин. В формулах использованы обозначения:  $R$  — сопротивление резистора;  $I$  — сила тока;  $U$  — напряжение на резисторе.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФОРМУЛЫ**

А)  $RI$

Б)  $\frac{U^2}{R}$

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

1) напряжение на резисторе

2) сила тока в резисторе

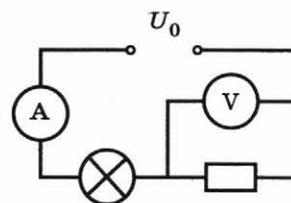
3) мощность тока в резисторе

4) работа электрического тока

Ответ:

А	Б

3 Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, подключена к аккумулятору. Напряжение на его клеммах равно  $U_0$ . Показания идеальных амперметра и вольтметра равны соответственно  $I$  и  $U$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. Внутренним сопротивлением аккумулятора можно пренебречь.



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ**

А) мощность, потребляемая резистором

Б) сопротивление резистора

**ФОРМУЛЫ**

1)  $\frac{U_0 - U}{I}$

2)  $(U_0 - U)I$

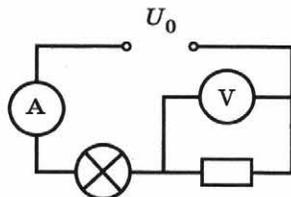
3)  $UI$

4)  $\frac{U}{I}$

Ответ:

А	Б

4 Электрическая цепь, схема которой изображена на рисунке, подключена к аккумулятору. Напряжение на его клеммах равно  $U_0$ . Показания идеальных амперметра и вольтметра равны соответственно  $I$  и  $U$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. Внутренним сопротивлением аккумулятора можно пренебречь.



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) мощность, потребляемая лампой  
Б) сопротивление лампы

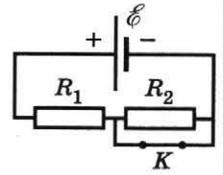
Ответ:

А	Б

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{U_0 - U}{I}$   
2)  $(U_0 - U)I$   
3)  $UI$   
4)  $\frac{U}{I}$

- 5 На рисунке показана цепь постоянного тока. Сопротивления обоих резисторов одинаковы и равны  $R$ . Внутренним сопротивлением источника тока можно пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\mathcal{E}$  — ЭДС источника тока). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) мощность на резисторе  $R_1$  при замкнутом ключе  $K$   
Б) мощность на резисторе  $R_1$  при разомкнутом ключе  $K$

Ответ:

А	Б

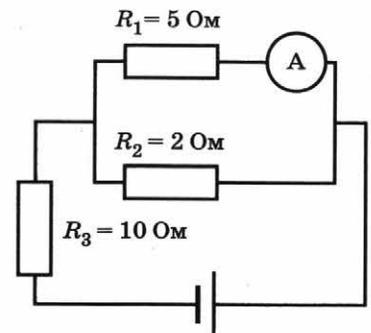
## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{\mathcal{E}^2}{2R}$   
2)  $\frac{\mathcal{E}^2}{R}$   
3)  $\frac{2\mathcal{E}^2}{R}$   
4)  $\frac{\mathcal{E}^2}{4R}$

## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

В цепи, изображённой на рисунке, идеальный амперметр показывает 0,2 А. Чему равно напряжение на резисторе  $R_3$ ?



Дано:	Решение:
$I_1 = 0,2 \text{ А}$ $R_1 = 5 \text{ Ом}$ $R_2 = 2 \text{ Ом}$ $R_3 = 10 \text{ Ом}$	Резисторы $R_1$ и $R_2$ соединены параллельно, следовательно, $U_1 = U_2$ и $I_1 R_1 = I_2 R_2$ .  Значит, $I_2 = \frac{I_1 R_1}{R_2} = \frac{0,2 \cdot 5}{2} = 0,5 \text{ А}$ .  Ток, протекающий через резистор $R_3$ , равен полному току в цепи: $I_3 = I_1 + I_2 = 0,2 + 0,5 = 0,7 \text{ А}$ . По закону Ома для участка цепи окончательно получим $U_3 = I_3 R_3 = 0,7 \cdot 10 = 7 \text{ В}$ .
$U_3 = ?$	Ответ: <u>7</u> В.

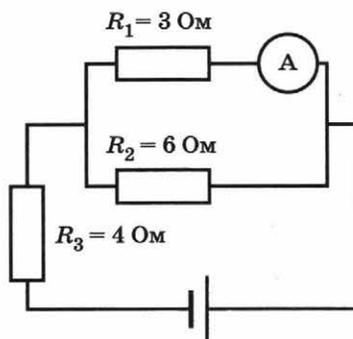
### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Лампа подключена к батарее с ЭДС 15 В и внутренним сопротивлением 3 Ом. Сила тока в электрической цепи равна 2 А. Чему равно сопротивление лампы?

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

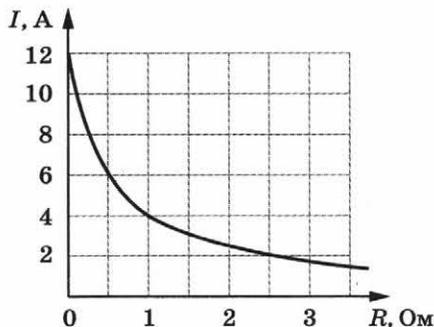
- 2 В цепи, изображённой на рисунке, идеальный амперметр показывает 1,5 А. Чему равна ЭДС источника, если его внутреннее сопротивление 2 Ом?

Ответ: \_\_\_\_\_ В.



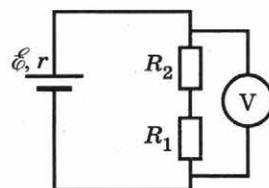
- 3 К источнику тока с ЭДС 6 В подключили реостат. На рисунке показан график зависимости силы тока, протекающего через реостат, от его сопротивления. Определите внутреннее сопротивление источника.

Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.



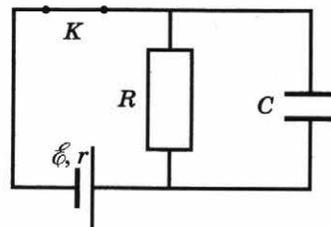
- 4 В схеме, показанной на рисунке, ЭДС источника тока равна 9 В, его внутреннее сопротивление  $r = 5 \text{ Ом}$ , а сопротивления резисторов  $R_1 = R_2 = 20 \text{ Ом}$ . Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?

Ответ: \_\_\_\_\_ В.



## Пример решения задачи

Конденсатор ёмкостью  $C = 100$  мкФ и резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом присоединены к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 24$  В и внутренним сопротивлением  $r = 2$  Ом. В начальный момент времени ключ  $K$  был замкнут (см. рисунок). Какое количество теплоты выделится на резисторе после размыкания ключа  $K$ ?



Дано:	Решение:
$C = 100$ мкФ $= 10^{-4}$ Ф $\mathcal{E} = 24$ В $r = 2$ Ом $R = 10$ Ом	<p>До размыкания ключа через резистор <math>R</math> протекает ток <math>I</math>, при этом конденсатор <math>C</math> заряжен и в нём накоплена энергия <math>W</math>. После размыкания ключа батарея отключается от остальной цепи, и конденсатор разряжается на резисторе, при этом вся накопленная в нём энергия выделяется в виде теплоты на резисторе: <math>W = Q</math>. Энергия заряженного конденсатора определяется формулой <math>W = \frac{CU^2}{2}</math>, где <math>U</math> — напряжение на конденсаторе.</p> <p>До размыкания ключа конденсатор подключён к резистору параллельно, следовательно, по закону Ома для участка цепи <math>U = IR</math>.            Сила тока в цепи определяется по закону Ома для полной цепи с ЭДС: <math>I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}</math>.</p> <p>В итоге <math>Q = \frac{C}{2} \cdot \left(\frac{\mathcal{E}R}{R+r}\right)^2 = \frac{10^{-4}}{2} \cdot \left(\frac{24 \cdot 10}{10+2}\right)^2 = 0,02</math> Дж.</p>
$Q = ?$	Ответ: <u>0,02</u> Дж.

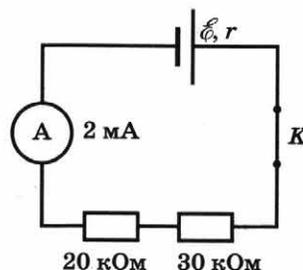
## Задачи для самостоятельного решения

- 5 По участку цепи, состоящему из резисторов сопротивления  $R_1 = 5$  кОм и  $R_2 = 20$  кОм (см. рисунок), протекает постоянный ток  $I$ . За время  $t_1 = 1$  мин на резисторе  $R_1$  выделяется количество теплоты  $Q_1 = 3$  кДж. За какое время на резисторе  $R_2$  выделится количество теплоты  $Q_2 = 8$  кДж?



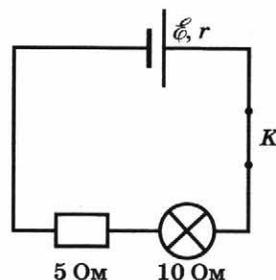
Ответ: \_\_\_\_\_ с.

- 6 Какая энергия выделится во внешней части цепи, представленной на рисунке, при протекании тока в течение 10 мин? Необходимые данные указаны на схеме. Сопротивлением амперметра можно пренебречь.



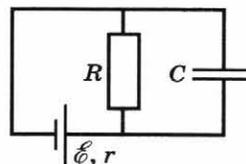
Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

- 7 К батарее с ЭДС 9 В и внутренним сопротивлением 3 Ом подключены резистор и лампочка (см. рисунок). Какую мощность потребляет лампочка? Необходимые данные указаны на схеме.



Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

- 8 Конденсатор ёмкостью  $C = 3$  мкФ и резистор сопротивлением  $R = 10$  Ом присоединены к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 12$  В и внутренним сопротивлением  $r = 2$  Ом (см. рисунок). Определите заряд конденсатора.



Ответ: \_\_\_\_\_ мкКл.

### Пример решения задачи

Нагревательный элемент фена изготовлен из никелиновой проволоки длиной 2,2 м и площадью поперечного сечения 0,03 мм<sup>2</sup>. Чему равна потребляемая мощность фена, если он питается от сети напряжением 220 В? Удельное сопротивление никелина равно  $1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м.

Дано:	Решение:
$l = 2,2$ м $S = 0,03$ мм <sup>2</sup> = $= 3 \cdot 10^{-8}$ м <sup>2</sup> $U = 220$ В $\rho = 1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м	Мощность нагревательного элемента фена определяется по формуле $P = \frac{U^2}{R}$ , где $R$ — сопротивление проволоки, из которой изготовлен элемент. В свою очередь, сопротивление проволоки равно $R = \rho \frac{l}{S}$ . Таким образом, $P = \frac{U^2 S}{\rho l} = \frac{220^2 \cdot 3 \cdot 10^{-8}}{1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 2,2} = 600$ Вт.
$P = ?$	Ответ: _____ 600 _____ Вт.

### Задачи для самостоятельного решения

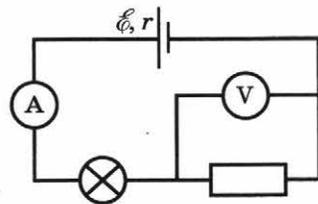
- 9 Нагреватель изготовлен из проволоки. Во сколько раз изменится мощность нагревателя, если укоротить его проволоку на 60 %?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 10 Нагревательный элемент фена изготовлен из никелиновой проволоки площадью поперечного сечения 0,05 мм<sup>2</sup>. Фен питается от сети напряжением 220 В и потребляет мощность 1000 Вт. Чему равна длина проволоки нагревательного элемента фена? Удельное сопротивление никелина равно  $1,1 \cdot 10^{-6}$  Ом·м.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 11 Определите сопротивление лампочки, если показания амперметра и вольтметра равны соответственно 0,4 А и 10 В. ЭДС источника напряжения 12 В, внутреннее сопротивление 2 Ом.



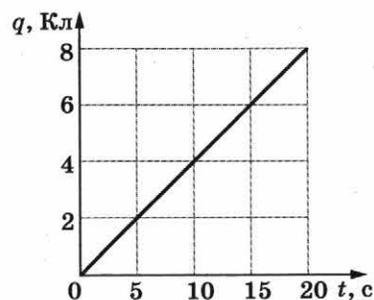
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 12 В кастрюле находится вода массой 0,5 кг при температуре 10 °С. Сколько потребуется времени, чтобы при помощи кипятильника сопротивлением 121 Ом, включённого в сеть напряжением 220 В, выпарить 10 % воды из кастрюли? Потерями тепла можно пренебречь.

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

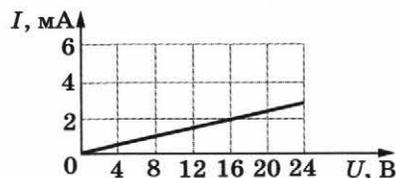
### ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «ПОСТОЯННЫЙ ТОК»

- 1 По проводнику течёт постоянный электрический ток. Заряд, проходящий через поперечное сечение проводника, возрастает с течением времени согласно графику, представленному на рисунке. Чему равна сила тока в проводнике?



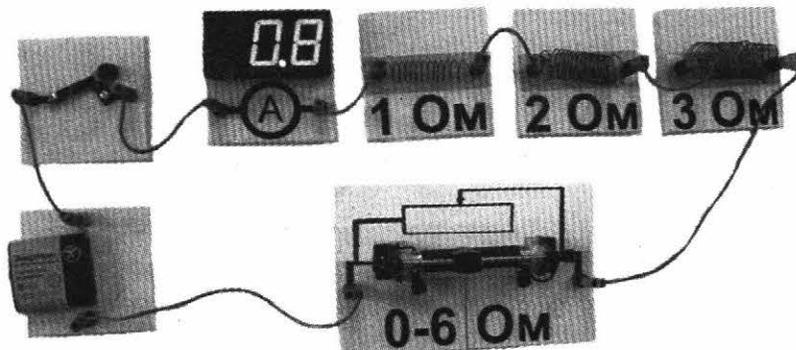
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 2 На рисунке изображён график зависимости силы тока в проводнике от напряжения между его концами. Чему равно сопротивление проводника?



Ответ: \_\_\_\_\_ кОм.

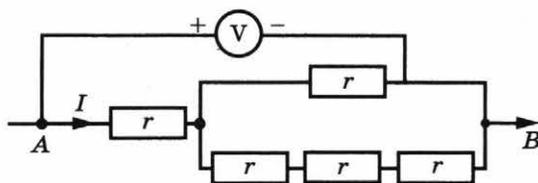
- 3 На рисунке — электрическая цепь. Показания включённого в цепь амперметра даны в амперах.



Какое напряжение покажет идеальный вольтметр, если его подключить параллельно резистору 3 Ом?

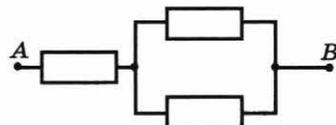
Ответ: \_\_\_\_\_ В.

4 Пять одинаковых резисторов сопротивлением  $r = 1$  Ом соединены в электрическую цепь, схема которой представлена на рисунке. По участку  $AB$  идёт ток  $I = 4$  А. Какое напряжение показывает идеальный вольтметр?



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

5 Определите сопротивление участка цепи, изображённого на схеме (см. рисунок), между точками  $A$  и  $B$ , если сопротивление каждого резистора равно 10 Ом.



Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

6 На штепсельных вилках некоторых бытовых электрических приборов имеется надпись: «6 А, 250 В». Определите максимально допустимую мощность электроприборов, которые можно включать, используя такие вилки.

Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

7 В первом опыте по проволочному резистору течёт ток. Во втором опыте его заменили на другой резистор из проволоки того же сечения из того же металла, но вдвое меньшей длины. Через второй резистор пропустили вдвое больший ток.

Выберите **два** верных утверждения о физических величинах, характеризующих этот процесс.

- 1) мощность, выделяемая на резисторе, увеличилась в 2 раза
- 2) сопротивление резистора увеличилось в 2 раза
- 3) сопротивление резистора уменьшилось в 2 раза
- 4) напряжение на резисторе уменьшилось в 2 раза
- 5) мощность, выделяемая на резисторе, уменьшилась в 2 раза

Ответ:

--	--

8 По проволочному резистору течёт ток. Как изменятся при увеличении длины проволоки в 2 раза и уменьшении силы тока вдвое мощность, выделяющаяся на резисторе, и его электрическое сопротивление?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

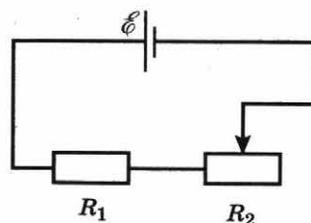
Мощность, выделяющаяся на резисторе	Электрическое сопротивление резистора

- 9 На рисунке показана цепь постоянного тока, содержащая источник тока с ЭДС  $\mathcal{E}$ , резистор  $R_1$  и реостат  $R_2$ . Если уменьшить сопротивление реостата  $R_2$  до минимума, то как изменятся при этом сила тока в цепи и суммарная мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи? Внутренним сопротивлением источника тока пренебречь.

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Сила тока в цепи	Суммарная мощность, выделяющаяся на внешнем участке цепи

- 10 Установите соответствие между формулами для вычисления физических величин в схемах постоянного тока и названиями этих величин. В формулах использованы обозначения:  $I$  — сила тока;  $U$  — напряжение;  $R$  — сопротивление резистора.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФОРМУЛЫ

А)  $\frac{U}{I}$

Б)  $\frac{U^2}{R}$

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1) заряд, протекший через резистор

2) сила тока через резистор

3) мощность тока, выделяющаяся на резисторе

4) сопротивление резистора

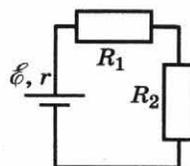
Ответ:

А	Б

- 11 Два резистора подключены к источнику тока с ЭДС  $\mathcal{E}$  (см. рисунок). Сопротивление первого резистора равно  $R_1$ , напряжение на нём равно  $U_1$ . Напряжение на втором резисторе равно  $U_2$ . Чему равны сопротивление второго резистора и внутреннее сопротивление источника тока?

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА

А) сопротивление резистора  $R_2$

Б) внутреннее сопротивление источника тока  $r$

ФОРМУЛА

1)  $R_1 \cdot \frac{U_1}{U_2}$

2)  $R_1 \cdot \frac{U_2}{U_1}$

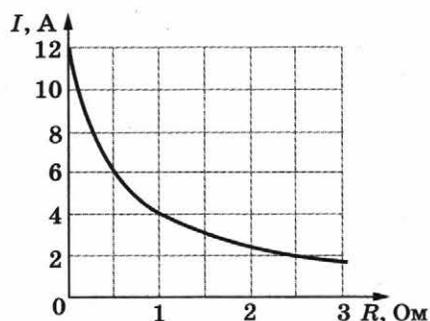
3)  $R_1 \cdot \frac{\mathcal{E} - U_1 - U_2}{U_2}$

4)  $R_1 \cdot \frac{\mathcal{E} - U_1 - U_2}{U_1}$

Ответ:

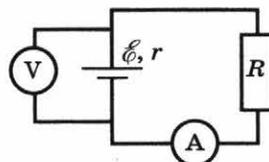
А	Б

- 12 К источнику тока с ЭДС = 6 В подключили реостат. На рисунке показан график изменения силы тока в реостате в зависимости от его сопротивления. Чему равно внутреннее сопротивление источника тока?



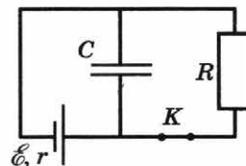
Ответ: \_\_\_\_\_ Ом.

- 13 В цепи, показанной на рисунке, ЭДС источника 15 В, а его внутреннее сопротивление 10 Ом. Источник нагружен на сопротивление 40 Ом. Определите показания амперметра. Приборы считать идеальными.



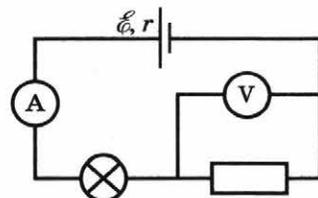
Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 14 Конденсатор ёмкостью  $C = 2$  мкФ присоединён к батарее с ЭДС  $\mathcal{E} = 10$  В и внутренним сопротивлением  $r = 1$  Ом. Сопротивление резистора равно  $R = 10$  Ом. В начальный момент времени ключ  $K$  был замкнут (см. рисунок). Определите энергию конденсатора через 2 мин после размыкания ключа  $K$ .



Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

- 15 Определите мощность, потребляемую лампочкой, если показания идеальных амперметра и вольтметра равны соответственно 0,4 А и 10 В. ЭДС источника напряжения 12 В, его внутреннее сопротивление 2 Ом.



Ответ: \_\_\_\_\_ Вт.

## Уроки 46–50. Магнитное поле

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 3.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

## 3.3.1. Механическое взаимодействие магнитов.

Опыт показывает, что намагниченные тела (в том числе постоянные магниты) взаимодействуют друг с другом, в частности притягиваются и отталкиваются (см. рисунок).

В магнитном взаимодействии могут участвовать движущиеся электрические заряды, электрические токи и намагниченные тела. Принято описывать это взаимодействие в терминах **магнитного поля**: один из взаимодействующих объектов создаёт магнитное поле, а другой объект испытывает на себе воздействие этого поля.

Для количественного описания магнитного поля в заданной точке  $\vec{r}$  вводится векторная физическая величина — **индукция магнитного поля**  $\vec{B}$ .

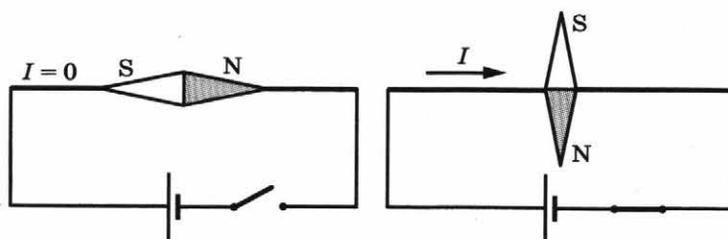
Для магнитного поля справедлив **принцип суперпозиции**: магнитные поля нескольких источников действуют на объект независимо друг от друга, при этом векторы индукции этих полей складываются:  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots$ .

Для наглядного графического представления магнитного поля используется картина его линий (линий индукции). В любой точке пространства вектор  $\vec{B}$  направлен по касательной к линии поля, его направление совпадает с направлением линии поля. Густота линий поля выше там, где больше модуль  $\vec{B}$ . Линии индукции магнитного поля не пересекаются друг с другом и замкнуты.

**Картины линий магнитного поля полосового и подковообразного постоянных магнитов** схематично представлены на рисунках.

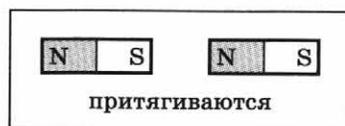
## 3.3.2. Опыт Эрстеда.

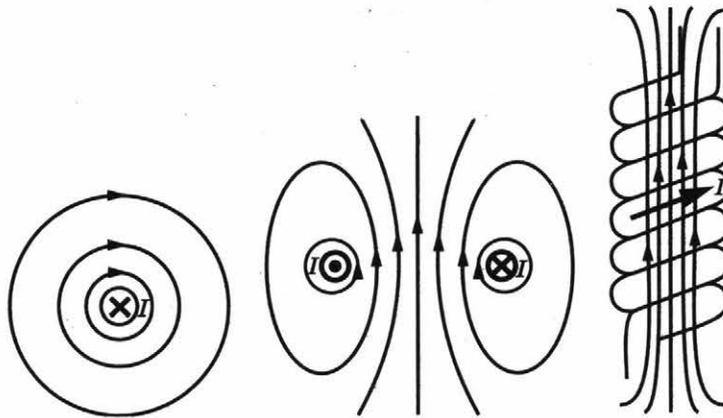
В 1820 г. Г. К. Эрстед продемонстрировал отклонение магнитной стрелки вблизи проводника с током. Обесточенный проводник проложен под стрелкой параллельно ей (см. рисунок, вид сверху). Когда по проводнику течёт ток, стрелка отклоняется практически перпендикулярно проводнику.



**Магнитное поле проводника с током** возникает при любых условиях.

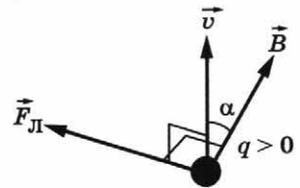
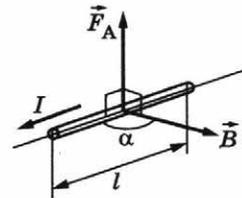
**Картины линий индукции магнитного поля длинного прямого проводника, замкнутого кольцевого проводника, катушки с током** схематично представлены на рисунках.





3.3.3. На проводник длиной  $l$ , по которому протекает ток  $I$ , со стороны магнитного поля  $\vec{B}$  действует **сила Ампера**, направленная перпендикулярно проводнику и вектору  $\vec{B}$  по правилу левой руки и равная  $F_A = IBlsin\alpha$ , где  $\alpha$  — угол между направлением проводника и вектором  $\vec{B}$ .

3.3.4. На частицу с зарядом  $q$ , движущуюся со скоростью  $\vec{v}$  в магнитном поле с индукцией  $\vec{B}$ , действует **сила Лоренца**  $\vec{F}_L$ :  $F_L = |q|vBsin\alpha$ , где  $\alpha$  — угол между векторами  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ . Сила Лоренца перпендикулярна векторам  $\vec{v}$  и  $\vec{B}$ , её направление определяется правилом правого буравчика, у которого рукоятка вращается от  $\vec{v}$  к  $\vec{B}$ . На рисунке показано направление силы Лоренца при  $q > 0$ . В случае  $q < 0$  сила Лоренца направлена в противоположную сторону.



**Движение заряженной частицы в однородном магнитном поле.** Если скорость заряженной частицы  $\vec{v} \perp \vec{B}$ , то частица движется в плоскости, перпендикулярной вектору  $\vec{B}$ . При этом сила Лоренца  $\vec{F}_L \perp \vec{v}$ , поэтому меняется направление скорости, но сохраняется её модуль, т. е. движение частицы является равномерным. Отсюда следует, что в однородном поле  $\vec{B}$  не меняется модуль  $\vec{F}_L$ . Поэтому частица равномерно движется по окружности.

Если скорость заряженной частицы  $\vec{v}$  направлена под произвольным углом  $\alpha$  ( $0 < \alpha < \pi$ ) к вектору  $\vec{B}$ , то движение этой частицы в однородном поле  $\vec{B}$  является суперпозицией двух движений: прямолинейного движения параллельно  $\vec{B}$  с постоянной скоростью  $v_{\parallel} = v\cos\alpha$  и вращения по окружности в плоскости, перпендикулярной  $\vec{B}$ , с постоянной скоростью  $v_{\perp} = v\sin\alpha$ . Траектория этого движения представляет собой спираль (винтовую линию) с постоянным радиусом и постоянным шагом. Ось этой спирали параллельна вектору  $\vec{B}$ .

## Задания для самостоятельной работы

## ЗАДАНИЕ 15 ЧАСТИ 1

## Магнитное поле проводника с током

- 1 На рисунке изображён проволочный виток, по которому течёт электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в плоскости чертежа. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) в центре витка вектор индукции магнитного поля, созданного током, протекающим по витку? Ответ запишите словом (словами).



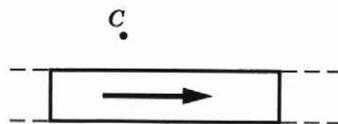
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 2 На рисунке изображён проволочный виток, по которому течёт электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в плоскости чертежа. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) в центре витка вектор индукции магнитного поля, созданного током, протекающим по витку? Ответ запишите словом (словами).



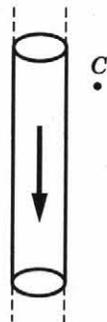
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 На рисунке изображён длинный прямой цилиндрический проводник, через который течёт электрический ток. Направление тока указано стрелкой. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор индукции магнитного поля этого тока в точке  $C$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

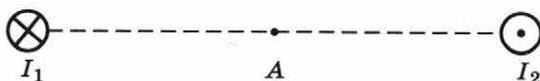
- 4 На рисунке изображён длинный прямой цилиндрический проводник, по которому течёт электрический ток. Направление тока указано стрелкой. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор индукции магнитного поля этого тока в точке  $C$ ? Ответ запишите словом (словами).



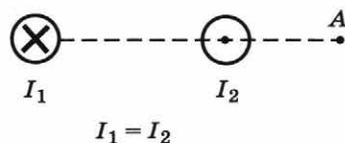
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 5 Магнитное поле  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$  создано в точке  $A$  двумя параллельными длинными прямыми проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , расположенными перпендикулярно плоскости чертежа (см. рисунок). Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор  $B$  в точке  $A$ ? Ответ запишите словом (словами).

Ответ: \_\_\_\_\_.

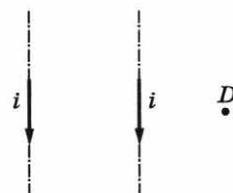


- 6 Магнитное поле  $\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2$  создано в точке А двумя параллельными длинными прямыми проводниками с токами  $I_1$  и  $I_2$ , расположенными перпендикулярно плоскости чертежа (см. рисунок). Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор магнитной индукции в точке А, находящейся на прямой, соединяющей проводники? Ответ запишите словом (словами).



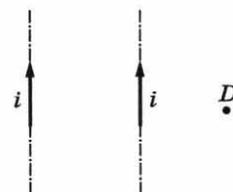
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 7 По двум тонким длинным прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи  $i$  (см. рисунок), направление которых указано стрелками. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор магнитной индукции создаваемого ими магнитного поля в точке D? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

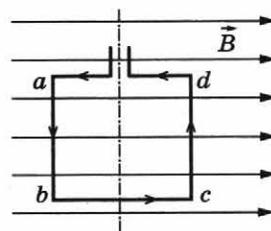
- 8 По двум тонким прямым проводникам, параллельным друг другу, текут одинаковые токи  $i$  (см. рисунок), направление которых указано стрелками. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вектор магнитной индукции создаваемого ими магнитного поля в точке D? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

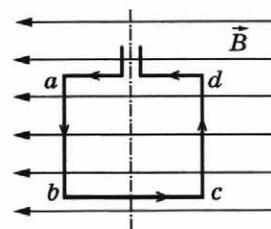
### Сила Ампера

- 1 Квадратная рамка расположена в однородном магнитном поле в плоскости линий магнитной индукции (см. рисунок). Направление тока в рамке показано стрелками. Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила, действующая на сторону  $ab$  рамки со стороны внешнего магнитного поля  $\vec{B}$ ? Ответ запишите словом (словами).



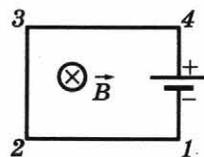
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 2 Квадратная рамка расположена в однородном магнитном поле в плоскости линий магнитной индукции (см. рисунок). Направление тока в рамке показано стрелками. Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила, действующая на сторону  $ab$  рамки со стороны внешнего магнитного поля  $\vec{B}$ ? Ответ запишите словом (словами).



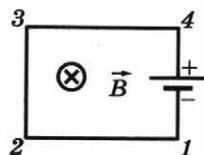
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен вертикально вниз (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 2—3? Ответ запишите словом (словами).



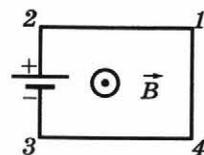
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 4 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен вертикально вниз (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 3—4? Ответ запишите словом (словами).



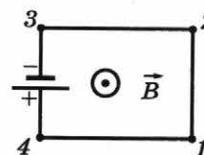
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 5 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен вертикально вверх (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 4—1? Ответ запишите словом (словами).



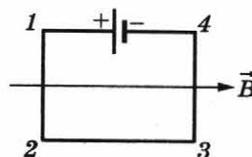
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 6 Электрическая цепь, состоящая из прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  которого направлен вертикально вверх (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 1—2? Ответ запишите словом (словами).



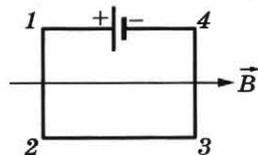
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 7 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен горизонтально вправо (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 3—4? Ответ запишите словом (словами).



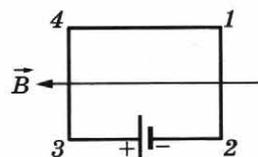
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 8 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен горизонтально вправо (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 1—2? Ответ запишите словом (словами).



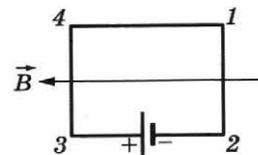
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 9 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен горизонтально влево (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 1—2? Ответ запишите словом (словами).



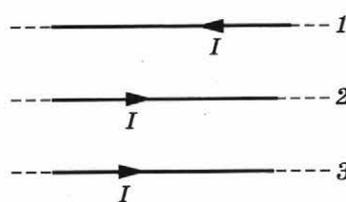
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 10 Электрическая цепь, состоящая из четырёх прямолинейных горизонтальных проводников (1—2, 2—3, 3—4, 4—1) и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого  $\vec{B}$  направлен горизонтально влево (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 3—4? Ответ запишите словом (словами).



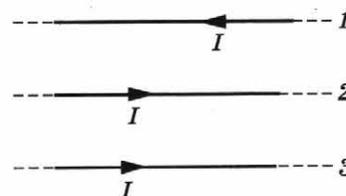
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 11 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила Ампера, действующая на проводник 2 со стороны двух других (см. рисунок), если все проводники тонкие, длинные, прямые, лежат в одной плоскости, параллельны друг другу и расстояния между соседними проводниками одинаковы? ( $I$  — сила тока.)



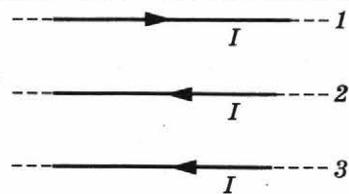
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 12 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила Ампера, действующая на проводник 1 со стороны двух других (см. рисунок), если все проводники тонкие, длинные, прямые, лежат в одной плоскости, параллельны друг другу и расстояния между соседними проводниками одинаковы? ( $I$  — сила тока.)



Ответ: \_\_\_\_\_.

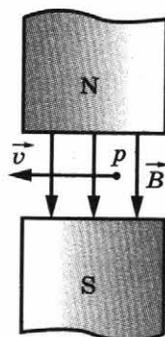
- 13 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила Ампера, действующая на проводник 3 со стороны двух других (см. рисунок)? Все проводники тонкие, прямые, длинные, лежат в одной плоскости и параллельны друг другу. Сила тока  $I$  во всех проводниках одинакова. Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

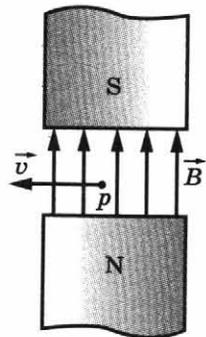
### Сила Лоренца

- 1 Протон  $p$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет скорость  $\vec{v}$ , которая перпендикулярна вектору индукции  $\vec{B}$  магнитного поля, направленному вниз (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



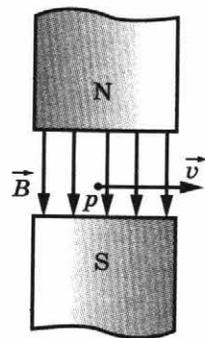
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 2 Протон  $p$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет скорость  $\vec{v}$ , перпендикулярную вектору индукции  $\vec{B}$  магнитного поля, направленному вверх (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



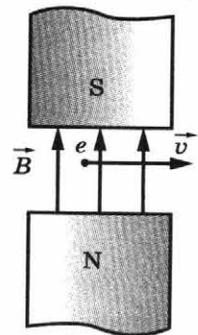
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 Протон  $p$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет скорость  $\vec{v}$ , перпендикулярную вектору индукции  $\vec{B}$  магнитного поля, направленного вниз (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



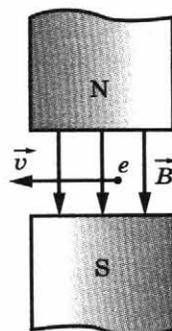
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 4 Электрон  $e$  влетел в зазор между полюсами электромагнита со скоростью  $\vec{v}$ , направленной горизонтально. Вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля направлен вверх (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на электрон сила Лоренца  $\vec{F}$ ?



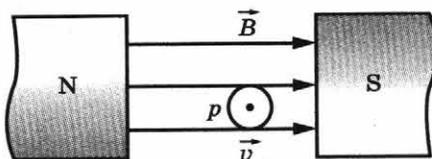
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 5 Электрон  $e$  влетает в зазор между полюсами электромагнита со скоростью  $\vec{v}$ , направленной горизонтально. Вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля направлен вниз (см. рисунок). Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на электрон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



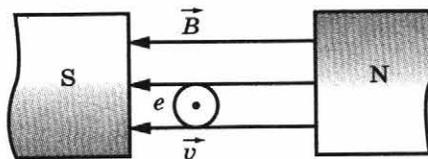
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 6 Протон  $p$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, имеет скорость  $\vec{v}$ , направленную горизонтально перпендикулярно вектору индукции  $\vec{B}$  магнитного поля (см. рисунок, на котором кружок с точкой указывает направление движения протона). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



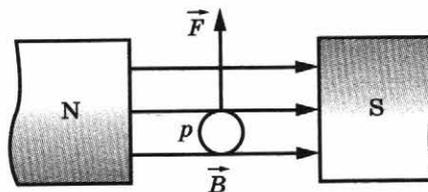
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 7 Электрон  $e$  влетает в зазор между полюсами электромагнита со скоростью  $\vec{v}$ , направленной к наблюдателю перпендикулярно плоскости рисунка (см. рисунок, где кружок с точкой показывает направление движения электрона). Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на электрон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



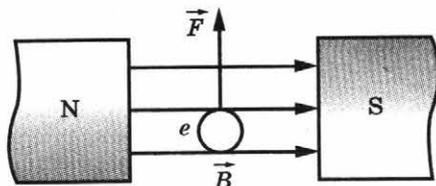
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 8 На протон  $p$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, со стороны магнитного поля, вектор индукции  $\vec{B}$  которого направлен горизонтально (см. рисунок), действует сила Лоренца  $\vec{F}$ . Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) скорость протона  $\vec{v}$ ? Ответ запишите словом (словами).



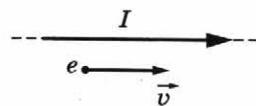
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 9 На электрон  $e$ , влетевший в зазор между полюсами электромагнита, со стороны магнитного поля, вектор индукции  $\vec{B}$  которого направлен горизонтально (см. рисунок), действует сила Лоренца  $\vec{F}$ . Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) скорость электрона  $\vec{v}$ ? Ответ запишите словом (словами).



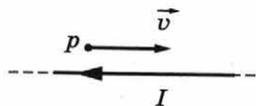
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 10 Электрон  $e$  имеет горизонтальную скорость  $\vec{v}$ , направленную вдоль прямого длинного проводника с током  $I$  (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на электрон сила Лоренца  $\vec{F}$ . Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

- 11 Протон  $p$  имеет скорость  $\vec{v}$ , направленную горизонтально вдоль прямого длинного проводника с током  $I$  (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

### ЗАДАНИЕ 17 ЧАСТИ 1

- 1 Протон в однородном магнитном поле движется по окружности. Как изменятся радиус окружности и период обращения протона, если его скорость увеличится?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Радиус окружности	Период обращения

- 2  $\alpha$ -Частица движется по окружности в однородном магнитном поле между полюсами магнита под действием силы Лоренца. После замены магнита по таким же траекториям стали двигаться протоны, обладающие той же скоростью. Как изменились индукция магнитного поля и модуль силы Лоренца?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Индукция магнитного поля	Модуль силы Лоренца

- 3 Протон в однородном магнитном поле движется по окружности. Если в этом поле будет двигаться по окружности с той же скоростью  $\alpha$ -частица, то радиус окружности и частота обращения  $\alpha$ -частицы по сравнению с протоном:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Радиус окружности	Частота обращения

- 4 Протон в однородном поле между полюсами магнита движется по окружности радиусом  $r$  с периодом обращения  $T$  и центростремительным ускорением  $a_{цс}$ . В этом же поле по окружности с таким же радиусом стала двигаться  $\alpha$ -частица, обладающая такой же энергией, как и протон. Как изменились период обращения в магнитном поле и скорость движения  $\alpha$ -частицы по сравнению с протоном?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

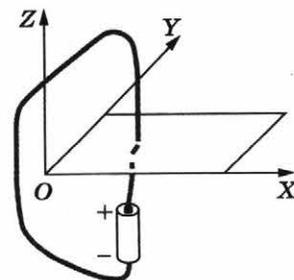
- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Период обращения	Скорость движения

## ЗАДАНИЕ 18 ЧАСТИ 1

- 1 При подключении проводника к полюсам гальванического элемента на поверхности проводника появляются заряды: положительные вблизи положительного полюса, отрицательные вблизи отрицательного полюса — и возникает электрический ток. Заряды на поверхности проводника создают в пространстве электрическое поле, а ток — магнитное поле. Проводник, подключённый к гальваническому элементу, проходит через отверстие в доске. На рисунках 1–4 при помощи линий поля изображены электрическое и магнитное поля, создаваемые проводником в плоскости доски (вид сверху). Установите соответствие между видами поля и рисунками, изображающими линии поля.



изображены электрическое и магнитное поля, создаваемые проводником в плоскости доски (вид сверху). Установите соответствие между видами поля и рисунками, изображающими линии поля.

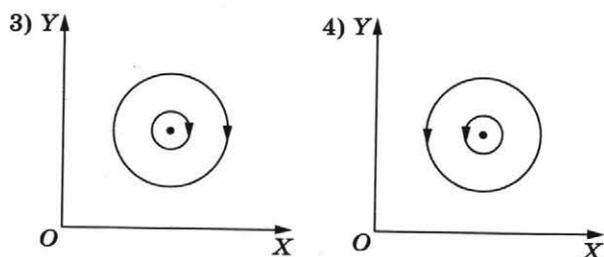
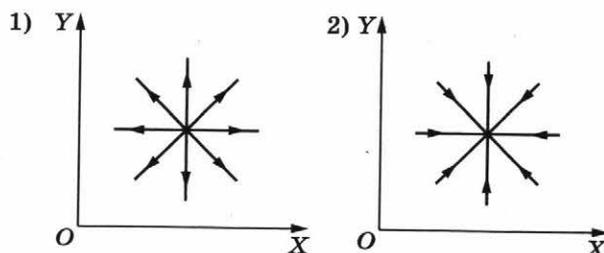
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры.

## ВИДЫ ПОЛЯ

А) электрическое поле

Б) магнитное поле

## ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИНИЙ ПОЛЯ



Ответ:

А	Б

- 2 При подключении проводника к полюсам гальванического элемента на поверхности проводника появляются заряды: положительные вблизи положительного полюса, отрицательные вблизи отрицательного полюса — и возникает электрический ток. Заряды на поверхности проводника создают в пространстве электрическое поле, а ток — магнитное поле. Проводник, подключённый к гальваническому элементу, проходит через отверстие в доске. На рисунках 1—4 при помощи линий поля изображены электрическое и магнитное поля, создаваемые проводником в плоскости доски (вид сверху). Установите соответствие между видами поля и рисунками, изображающими линии поля.

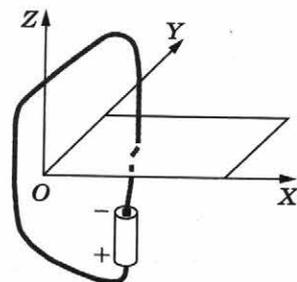
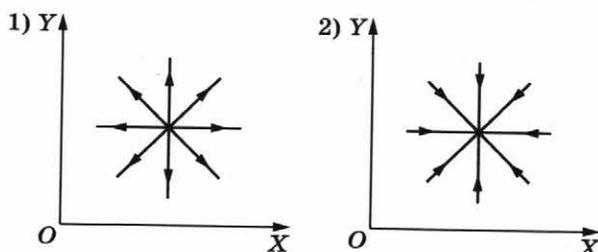
К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры.

## ВИДЫ ПОЛЯ

А) электрическое поле

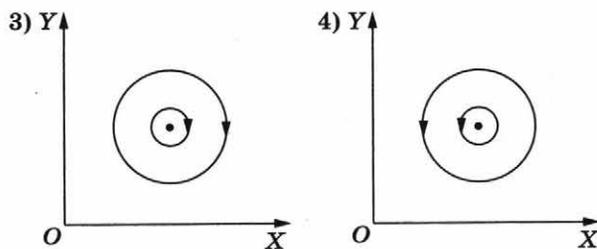
Б) магнитное поле

## ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛИНИЙ ПОЛЯ



Ответ:

А	Б



3 В первой экспериментальной установке вектор скорости  $\vec{v}_0$  заряженной частицы параллелен напряжённости электрического поля (рис. 1). Во второй экспериментальной установке заряженная частица влетает в однородное магнитное поле так, что вектор скорости  $\vec{v}_0$  перпендикулярен индукции магнитного поля (рис. 2).

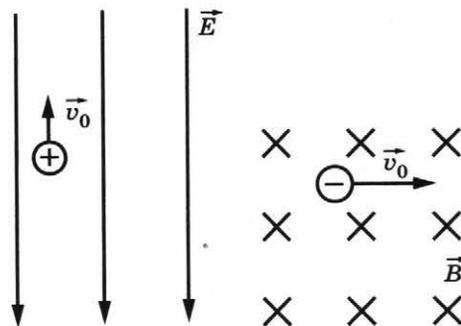


Рис. 1

Рис. 2

Установите соответствие между экспериментальными установками и траекториями движения частиц в них.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

**ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ**

- А) в первой установке
- Б) во второй установке

**ТРАЕКТОРИЯ**

- 1) прямая линия
- 2) окружность
- 3) спираль
- 4) парабола

Ответ:

А	Б

4 В первой экспериментальной установке отрицательно заряженная частица влетает в однородное электрическое поле так, что вектор  $\vec{v}_0$  перпендикулярен напряжённости электрического поля  $\vec{E}$  (рис. 1). Во второй экспериментальной установке вектор  $\vec{v}_0$  той же частицы параллелен индукции магнитного поля  $\vec{B}$  (рис. 2).

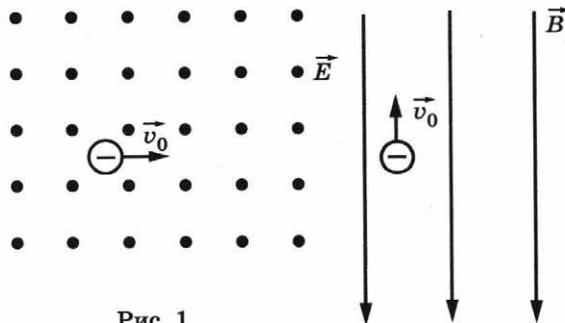


Рис. 1

Рис. 2

Установите соответствие между экспериментальной установкой и траекторией движения частицы в ней.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ

- А) в первой установке  
Б) во второй установке

#### ТРАЕКТОРИЯ

- 1) прямая линия  
2) окружность  
3) спираль  
4) парабола

Ответ:

А	Б

- 5 Протон массой  $m$  и зарядом  $q$  движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  по окружности со скоростью  $v$ . Действием силы тяжести можно пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) модуль силы Лоренца, действующей на протон  
Б) радиус окружности, по которой движется протон

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{2\pi m}{qB}$   
2)  $qvB$   
3)  $\frac{mv}{qB}$   
4)  $\frac{qvB}{m}$

Ответ:

А	Б

- 6 Заряженная частица массой  $m$ , несущая положительный заряд  $q$ , движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  по окружности со скоростью  $v$ . Действием силы тяжести можно пренебречь. Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

#### ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) индукция магнитного поля  
Б) период обращения частицы по окружности

#### ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{mv}{qR}$   
2)  $\frac{mv}{qB}$   
3)  $\frac{2\pi m}{qB}$   
4)  $qvB$

Ответ:

А	Б

## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

Медный прямой проводник расположен в однородном магнитном поле, модуль вектора магнитной индукции которого равен 20 мТл. Силовые линии магнитного поля направлены перпендикулярно проводнику. К концам проводника приложено напряжение 3,4 В. Определите площадь поперечного сечения проводника, если сила Ампера, действующая на него, равна 6 Н. Удельное сопротивление меди равно  $1,7 \cdot 10^{-8}$  Ом · м.

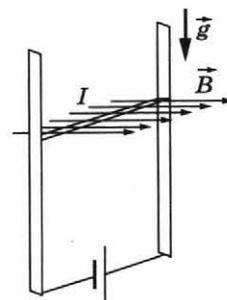
Дано:	Решение:
$B = 0,02$ Тл $U = 3,4$ В $F = 6$ Н $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}$ Ом · м $\alpha = 90^\circ$	<p>На проводник со стороны магнитного поля действует сила Ампера <math>F_A = IBl</math>, где <math>I</math> – сила тока, протекающего через проводник.</p> <p>По закону Ома для участка цепи <math>I = \frac{U}{R}</math>. В свою очередь, сопротивление проводника <math>R</math> определяется формулой <math>R = \rho \frac{l}{S}</math>.</p> <p>В итоге <math>S = \frac{F\rho}{BU} = \frac{6 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{0,02 \cdot 3,4} = 1,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 1,5 \text{ мм}^2</math>.</p>
$S = ?$	Ответ: <u>1,5</u> мм <sup>2</sup> .

## Задачи для самостоятельного решения

- 1 В однородном горизонтальном магнитном поле индукцией 0,03 Тл находится прямолинейный проводник, расположенный в горизонтальной плоскости перпендикулярно линиям индукции поля. Какой ток следует пропустить по проводнику, чтобы сила Ампера уравновесила силу тяжести? Масса единицы длины проводника 0,03 кг/м.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 2 В однородном магнитном поле по вертикальным направляющим без трения скользит вниз с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$  прямой горизонтальный проводник длиной 40 см, по которому течёт ток 5 А. Вектор магнитной индукции направлен горизонтально перпендикулярно проводнику (см. рисунок). Чему равна масса проводника, если известно, что модуль вектора магнитной индукции поля равен 0,2 Тл?

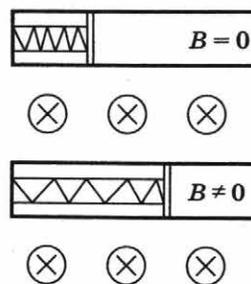


Ответ: \_\_\_\_\_ кг.

- 3 Проводник длиной 20 см, по которому течёт ток 15 А, находится в однородном магнитном поле индукцией 40 мТл. Какую работу совершает сила Ампера при перемещении проводника на 50 см в направлении своего действия, если проводник расположен перпендикулярно линиям магнитной индукции?

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

- 4 Свободно перемещающийся по рамке проводник длиной 15 см с током через изолятор прикреплен к пружине жесткостью 20 Н/м (см. рисунок). По проводнику течёт ток 5 А. При включении однородного магнитного поля, вектор индукции которого перпендикулярен плоскости рамки, пружина растянулась на 3 см. Определите индукцию магнитного поля.



Ответ: \_\_\_\_\_ мТл.

- 5 Стальной прямой проводник с током площадью поперечного сечения  $0,2 \text{ мм}^2$  помещён в однородное магнитное поле, модуль вектора магнитной индукции которого равен  $0,5 \text{ Тл}$ . Чему равна сила Ампера, действующая на проводник, если напряжение на нём  $10 \text{ В}$ ? Вектор магнитной индукции перпендикулярен проводнику. Удельное сопротивление стали  $12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ . Ответ округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

### Пример решения задачи

Две частицы с одинаковыми зарядами и отношением масс  $\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$  влетели в однородные магнитные поля перпендикулярно векторам магнитной индукции: первая — в поле индукцией  $B_1$ , вторая — в поле индукцией  $B_2$ . Найдите отношение периодов обращения частиц в магнитных полях  $\frac{T_2}{T_1}$ , если отношение индукций  $\frac{B_2}{B_1} = \frac{1}{4}$ .

Дано:	Решение:
$\frac{m_2}{m_1} = \frac{1}{2}$ $q_1 = q_2$ $\frac{B_2}{B_1} = \frac{1}{4}$	<p>Заряженная частица, влетающая в однородное магнитное поле перпендикулярно его силовым линиям, под действием силы Лоренца <math>F_{\text{л}} = qBv \sin 90^\circ</math> начинает двигаться по окружности радиусом <math>R</math>. Согласно второму закону Ньютона <math>ma_{\text{ц}} = F_{\text{л}}</math>, где <math>a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R}</math> — центростремительное ускорение частицы, <math>v</math> — скорость её движения. Период обращения частицы в магнитном поле равен <math>T = \frac{2\pi R}{v}</math>.</p> <p>В итоге получаем <math>T = \frac{2\pi m}{qB}</math>.</p> <p>Составим отношение: <math>\frac{T_2}{T_1} = \frac{2\pi m_2}{q_2 B_2} \cdot \frac{q_1 B_1}{2\pi m_1} = \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{B_1}{B_2} = \frac{1}{2} \cdot 4 = 2</math>.</p>
$\frac{T_2}{T_1} = ?$	Ответ: _____ 2 _____ .

## Задачи для самостоятельного решения

- 6 Протон и электрон влетают в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции со скоростями  $v$  и  $4v$  соответственно. Чему равно отношение модуля силы Лоренца, действующей на протон, к модулю силы Лоренца, действующей на электрон?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 7  $\alpha$ -Частица и протон влетают с одинаковыми по модулю скоростями в однородное магнитное поле перпендикулярно вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ . Определите отношение радиусов окружностей  $\frac{R_\alpha}{R_p}$ , по которым движутся эти частицы.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

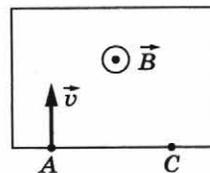
- 8 Две положительно заряженные частицы, имеющие отношение масс  $\frac{m_2}{m_1} = 2$ , влетели с одинаковыми скоростями в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции. Найдите отношение зарядов частиц  $\frac{q_2}{q_1}$ , если отношение радиусов траекторий, по которым движутся частицы,  $\frac{R_2}{R_1} = 0,5$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 9 Две частицы, имеющие отношение зарядов  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{1}{2}$  и отношение масс  $\frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{4}$ , влетели в однородное магнитное поле перпендикулярно линиям магнитной индукции и движутся по окружностям. Определите отношение периодов обращения этих частиц  $\frac{T_1}{T_2}$  в магнитном поле.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

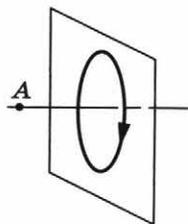
- 10 Пучок протонов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке  $A$  со скоростью  $v = 4 \cdot 10^5$  м/с, направленной перпендикулярно стенке  $AC$ . В камере создаётся однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости протонов. Двигаясь в этом поле, протоны попадают на мишень, расположенную в точке  $C$  на некотором расстоянии от точки  $A$  (см. рисунок). Определите расстояние  $AC$ , если индукция магнитного поля  $B$  равна 167 мТл. Ответ округлите до целых.



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

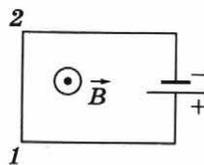
### ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «МАГНИТНОЕ ПОЛЕ»

- 1 На рисунке изображён проволочный виток, по которому течёт электрический ток в направлении, указанном стрелкой. Виток расположен в вертикальной плоскости. Точка  $A$  находится на горизонтальной прямой, проходящей через центр витка перпендикулярно его плоскости. Как направлен (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) в точке  $A$  вектор индукции магнитного поля, созданного током, протекающим по витку? Ответ запишите словом (словами).



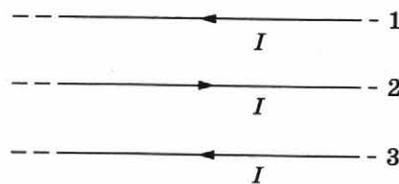
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 2 Электрическая цепь, состоящая из горизонтальных прямолнейных проводников и источника постоянного тока, находится в однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции  $\vec{B}$  которого направлен к наблюдателю (см. рисунок, вид сверху). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) вызванная этим полем сила Ампера, действующая на проводник 1–2? Ответ запишите словом (словами).



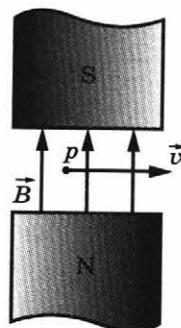
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 Как направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) сила Ампера, действующая на проводник 3 со стороны двух других (см. рисунок)? Все проводники тонкие, прямые, длинные, лежат в одной плоскости и параллельны друг другу. Сила тока  $I$  во всех проводниках одинакова. Ответ запишите словом (словами).



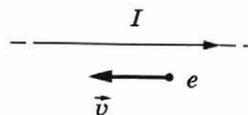
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 4 Протон  $p$  влетел в зазор между полюсами электромагнита со скоростью  $\vec{v}$ , направленной горизонтально. Вектор индукции  $\vec{B}$  магнитного поля направлен вверх (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на протон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

- 5 Электрон  $e$  имеет горизонтальную скорость  $\vec{v}$ , направленную вдоль прямого длинного проводника с током  $I$  (см. рисунок). Куда направлена (**вверх, вниз, влево, вправо, от наблюдателя, к наблюдателю**) действующая на электрон сила Лоренца  $\vec{F}$ ? Ответ запишите словом (словами).



Ответ: \_\_\_\_\_.

6 Протон в однородном магнитном поле движется по окружности. Если в этом поле будет двигаться с той же скоростью  $\alpha$ -частица, то центростремительное ускорение и период обращения  $\alpha$ -частицы по сравнению с протоном:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Центростремительное ускорение	Период обращения

7 Протон в однородном магнитном поле движется по окружности. Если в этом поле будет двигаться по окружности с той же скоростью  $\alpha$ -частица, то частота обращения и кинетическая энергия  $\alpha$ -частицы по сравнению с протоном:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота обращения	Кинетическая энергия частицы

8 В первой экспериментальной установке положительно заряженная частица влетает в однородное электрическое поле так, что вектор скорости  $\vec{v}_0$  перпендикулярен вектору напряжённости поля  $\vec{E}$  (рис. 1). Во второй экспериментальной установке вектор скорости  $\vec{v}_0$  такой же частицы перпендикулярен индукции магнитного поля  $\vec{B}$  (рис. 2).

Установите соответствие между экспериментальной установкой и траекторией движения частицы в ней.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

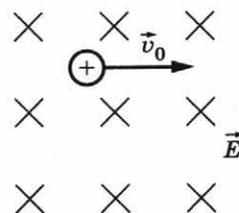


Рис. 1

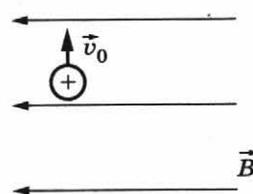


Рис. 2

**ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦЫ**

- А) в первой установке
- Б) во второй установке

**ТРАЕКТОРИЯ**

- 1) прямая линия
- 2) окружность
- 3) спираль
- 4) парабола

Ответ:

А	Б

- 9 Заряженная частица массой  $m$ , несущая положительный заряд  $q$ , движется перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля  $\vec{B}$  по окружности радиусом  $R$ .

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) период обращения частицы по окружности

Б) скорость движения частицы по окружности

## ФОРМУЛЫ

1)  $\frac{qm}{BR}$

2)  $\frac{2\pi m}{qB}$

3)  $\frac{qBR}{m}$

4)  $qmBR$

Ответ:

А	Б

- 10 С какой силой действует однородное магнитное поле индукцией 2,5 Тл на проводник длиной 50 см, расположенный под углом  $30^\circ$  к вектору индукции, при силе тока в проводнике 0,5 А?

Ответ: \_\_\_\_\_ Н.

- 11 Участок проводника находится в магнитном поле, индукция которого равна 50 мТл и перпендикулярна проводнику. Сила электрического тока, протекающего по проводнику, равна 10 А. При перемещении проводника на 8 см в направлении действия силы Ампера поле совершает работу 0,004 Дж. Чему равна длина участка проводника?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 12 Прямолинейный проводник подвешен горизонтально на двух нитях в однородном магнитном поле индукцией 10 мТл. Вектор магнитной индукции горизонтален и перпендикулярен проводнику. Во сколько раз изменится сила натяжения нитей при изменении направления тока на противоположное? Масса единицы длины проводника 0,01 кг/м, сила тока в проводнике 5 А.

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

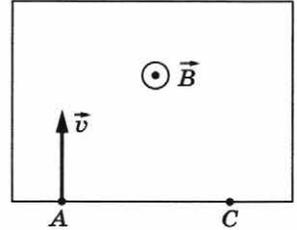
- 13 Две частицы с одинаковыми зарядами и отношением масс  $\frac{m_2}{m_1} = 2$  влетели

в однородные магнитные поля, векторы магнитной индукции которых перпендикулярны их скорости: первая — в поле с индукцией  $B_1$ , вторая — в поле с индукцией  $B_2$ . Найдите отношение кинетических энергий частиц

$\frac{W_2}{W_1}$ , если радиус их траекторий одинаков, а отношение индукций  $\frac{B_2}{B_1} = 2$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 14 Пучок ионов попадает в камеру масс-спектрометра через отверстие в точке  $A$  со скоростью  $v = 3 \cdot 10^4$  м/с, направленной перпендикулярно стенке  $AC$ . В камере создаётся однородное магнитное поле, линии вектора индукции которого перпендикулярны вектору скорости ионов. Двигаясь в этом поле, ионы попадают на мишень, расположенную в точке  $C$  на расстоянии 18 см от точки  $A$  (см. рисунок). Чему равна индукция магнитного поля  $B$ , если отношение массы иона к его заряду  $\frac{m}{q} = 6 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл?



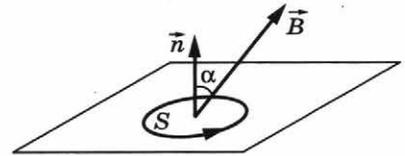
Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

## Уроки 51—55. Электромагнитная индукция и электромагнитные колебания

### СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 3.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

3.4.1. Выберем на плоскости площадку  $S$ . Её граница представляет собой замкнутую кривую. На кривой выберем положительное направление обхода. По правилу правого буравчика, вращая его рукоятку в этом направлении, выберем одно из двух возможных направлений нормали  $\vec{n}$  к площадке (см. рисунок). Пусть вектор индукции  $\vec{B}$  однородного магнитного поля образует с нормалью  $\vec{n}$  угол  $\alpha$ . Тогда **поток вектора магнитной индукции** (магнитный поток) через площадку  $S$  равен  $\Phi = B_n S = B S \cos \alpha$ .

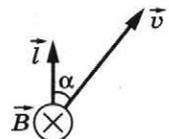


Если магнитное поле неоднородно или площадка  $S$  не плоская, площадку  $S$  делят на малые части, в пределах которых площадку уже можно считать плоской, а поле — однородным с приемлемой для решения задачи точностью. Магнитный поток через площадку  $S$  в этом случае равен сумме вкладов от всех её частей.

3.4.2. **Явление электромагнитной индукции** заключается в том, что в замкнутом контуре при изменении магнитного потока через ограниченную им площадку возникает электрический ток, называемый индукционным током. Электрический ток протекает в цепи с отличным от нуля сопротивлением при наличии в цепи источника ЭДС, в котором работа сторонних сил компенсирует потери энергии при протекании тока в цепи. Таким образом, явление электромагнитной индукции указывает на наличие в цепи **ЭДС индукции**.

3.4.3. **Закон электромагнитной индукции Фарадея**: если магнитный поток  $\Phi$  через площадку  $S$  меняется с течением времени, то в контуре, ограничивающем площадку, существует ЭДС индукции  $\mathcal{E}_i = -\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \Big|_{\Delta t \rightarrow 0} = -\Phi'_t$ .

3.4.4. **ЭДС индукции в прямом проводнике длиной  $l$ , движущемся со скоростью  $\vec{v}$  в однородном магнитном поле  $\vec{B}$** : пусть  $\vec{l} \perp \vec{B}$ ,  $\vec{v} \perp \vec{B}$ , угол между проводником и его скоростью равен  $\alpha$ . Тогда модуль ЭДС индукции в проводнике  $|\mathcal{E}_i| = Blv \sin \alpha$ .



3.4.5. **Правило Ленца:** магнитное поле индукционного тока в контуре препятствует изменению магнитного потока, из-за которого возник индукционный ток.

3.4.6. Из принципа суперпозиции для магнитного поля следует, что модуль индукции магнитного поля, создаваемого проводником с током в данной точке пространства, при любой форме проводника пропорционален силе тока:  $B \sim I$ . Тогда из определения магнитного потока через площадку, ограниченную проводником, получаем, что и  $\Phi \sim I$ . Это позволяет ввести **ИНДУКТИВНОСТЬ** — коэффициент пропорциональности между током в проводнике и магнитным потоком через площадку, ограниченную этим проводником:  $\Phi = IL$ , где  $L = \frac{\Phi}{I}$  — индуктивность проводника,

зависящая от его размеров и формы, но не зависящая от протекающего тока.

При изменении тока в проводнике меняется магнитный поток через площадку, ограниченную проводником, что приводит к появлению индукционного тока в цепи, как и в случае явления электромагнитной индукции. Но теперь причиной появления индукционного тока является изменение магнитного потока не внешнего поля, а поля, создаваемого самим проводником с током. Поэтому появление индукционного тока в проводнике в данном случае носит название явления **самоиндукции**.

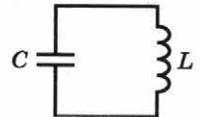
Если размеры и форма проводника не меняются (т. е.  $L = \text{const}$ ), то для **ЭДС самоиндукции** из закона Фарадея получаем  $\mathcal{E}_{si} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \Big|_{\Delta t \rightarrow 0} = -LI'_t$ .

3.4.7. **Энергия магнитного поля катушки с током:**  $W_L = \frac{LI^2}{2}$ ,

где  $L$  — индуктивность катушки,  $I$  — ток в катушке.

### 3.5. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

3.5.1. **Колебательный контур** в простейшем случае состоит из соединённых друг с другом конденсатора и катушки индуктивности (см. рисунок). Если можно пренебречь активным электрическим сопротивлением проводов и катушки, то потери энергии в контуре отсутствуют и контур является идеальным.



**Свободные электромагнитные колебания в идеальном колебательном контуре** описываются уравнением  $-LI'_t = \frac{q}{C}$ , которое представляет собой закон Ома для полной цепи в случае данного контура.

Решение этого уравнения представляет собой гармонические колебания и описывается следующими выражениями для заряда  $q$  одной из обкладок конденсатора и силы тока  $I$  в контуре:

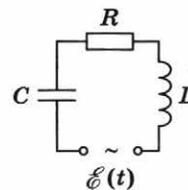
$$\begin{cases} q(t) = q_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0) \\ I(t) = q'_t = \omega q_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0) = I_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0). \end{cases}$$

Период этих колебаний  $T = 2\pi\sqrt{LC}$  (**формула Томсона**), откуда  $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ .

Из соотношения  $I(t) = q'_t$  и вида зависимости  $q(t)$  следует **связь амплитуды заряда конденсатора с амплитудой силы тока в колебательном контуре:**

$$q_{\max} = \frac{I_{\max}}{\omega}.$$

3.5.2. В идеальном колебательном контуре выполняется **закон сохранения энергии**:  $\frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2} + \frac{LI_{\max}^2}{2} = \text{const}$ , потому что в этом контуре нет потерь энергии на тепловыделение.



3.5.3. В реальном контуре из-за сопротивления проводов и активного сопротивления катушки индуктивности происходит потеря энергии электромагнитных колебаний и их затухание. Если этот контур сопротивлением  $R$  и с циклической частотой свободных колебаний  $\omega$  подключить к источнику переменной ЭДС  $\mathcal{E}(t)$  с циклической частотой  $\Omega$  (величина  $\Omega$  может быть задана извне произвольно), то в контуре возникают как свободные, так и **вынужденные электромагнитные колебания**. Через некоторое время свободные колебания затухнут и будут наблюдаться только вынужденные колебания с частотой  $\Omega$  переменной ЭДС.

При сближении частоты свободных колебаний  $\omega$  с циклической частотой  $\Omega$  внешней ЭДС наблюдается **явление резонанса** — увеличение амплитуды вынужденных электромагнитных колебаний в контуре при неизменной амплитуде ЭДС. Чем меньше активное сопротивление контура, тем больше амплитуда силы тока в контуре при резонансе при одной и той же амплитуде внешней ЭДС.

3.5.4. Промышленный **переменный ток** обычно представляет собой гармонические колебания:  $I(t) = I_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$ . Такой переменный ток создаётся, например, благодаря явлению электромагнитной индукции в проводящем витке при его равномерном вращении в однородном магнитном поле. При передаче электроэнергии от электростанции к потребителю важно уменьшить потери электроэнергии в проводах из-за тепловыделения. Поэтому при неизменной мощности, подводимой к линии электропередачи,  $P = IU$  необходимо уменьшить мощность, выделяемую на проводах:  $P = I^2 R$ , где  $R$  — сопротивление проводов. Значит, нужно уменьшить силу тока  $I$ . При заданных значениях  $R$  и  $P$  это достигается за счёт повышения переменного напряжения  $U$  с помощью трансформатора. На выходе линии электропередачи переменное напряжение понижают с помощью другого трансформатора до значений, необходимых потребителю.

## Задания для самостоятельной работы

### ЗАДАНИЕ 15 ЧАСТИ 1

#### Поток вектора магнитной индукции

- 1 Какой магнитный поток создаётся однородным магнитным полем индукцией 0,2 Тл, который пронизывает рамку площадью 0,3 м<sup>2</sup>? Рамка расположена перпендикулярно вектору магнитной индукции.

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

- 2 Чему равна площадь рамки, если однородное магнитное поле индукцией 0,1 Тл, пронизывающее эту рамку, создаёт магнитный поток 0,04 Вб? Рамка расположена перпендикулярно вектору магнитной индукции.

Ответ: \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>.

- 3 Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают рамку площадью  $0,5 \text{ м}^2$  под углом  $30^\circ$  к её поверхности, создавая магнитный поток, равный  $0,2 \text{ Вб}$ . Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?

Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

**Закон электромагнитной индукции Фарадея,  
ЭДС индукции в движущихся проводниках**

- 1 За  $\Delta t = 3 \text{ с}$  магнитный поток, пронизывающий проволочную рамку, равномерно уменьшается от  $15 \text{ мВб}$  до нуля. Определите ЭДС, которая генерируется при этом в рамке.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

- 2 За  $\Delta t = 2 \text{ с}$  магнитный поток, пронизывающий проволочную рамку, равномерно уменьшается от некоторого значения  $\Phi$  до нуля. При этом в рамке генерируется ЭДС, равная  $2 \text{ мВ}$ . Определите начальный магнитный поток  $\Phi$  через рамку.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВб.

- 3 В опыте по наблюдению электромагнитной индукции квадратная рамка из одного витка тонкого провода находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рамки. Индукция магнитного поля равномерно возрастает от 0 до максимального значения  $B_{\text{max}}$  за время  $T$ . При этом в рамке возбуждается ЭДС индукции, равная  $8 \text{ мВ}$ . Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке, если  $T$  увеличить в 2 раза, а  $B_{\text{max}}$  в 2 раза уменьшить.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

- 4 В опыте по наблюдению электромагнитной индукции квадратная рамка из одного витка тонкого провода находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рамки. Индукция магнитного поля равномерно возрастает от 0 до максимального значения  $B_{\text{max}}$  за время  $T$ . При этом в рамке возбуждается ЭДС индукции, равная  $8 \text{ мВ}$ . Определите ЭДС индукции, возникающую в рамке, если  $T$  уменьшить в 2 раза, а  $B_{\text{max}}$  в 2 раза увеличить.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

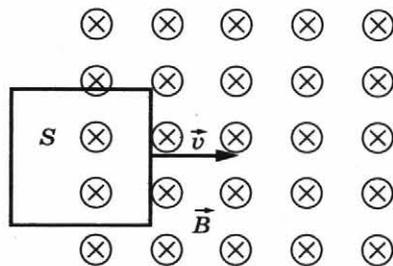
- 5 При движении проводника в однородном магнитном поле между его концами возникает ЭДС индукции  $2 \text{ мВ}$ . Чему будет равна ЭДС индукции при увеличении индукции магнитного поля в 2 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

- 6 При движении проводника в однородном магнитном поле в проводнике возникает ЭДС индукции  $4 \text{ мВ}$ . Чему будет равна ЭДС индукции при уменьшении скорости движения проводника в 2 раза?

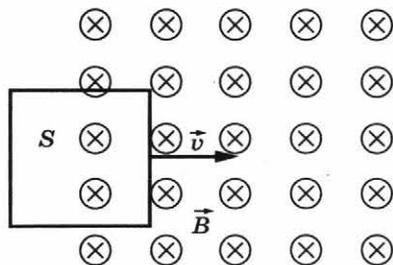
Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

- 7 В некоторой области пространства создано вертикальное однородное магнитное поле. Горизонтальная квадратная металлическая рамка площадью  $S$  движется через границу этой области с постоянной скоростью  $\vec{v}$ , направленной перпендикулярно стороне рамки и вектору магнитной индукции  $\vec{B}$  (см. рисунок, вид сверху). ЭДС индукции, генерируемая при этом в рамке, равна  $\mathcal{E}$ . Во сколько раз больше будет ЭДС в металлической квадратной рамке площадью  $4S$ , если она будет двигаться в этом поле точно так же, как и первая рамка?



Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 8 В некоторой области пространства создано вертикальное однородное магнитное поле. Горизонтальная квадратная металлическая рамка площадью  $S$  движется через границу этой области с постоянной скоростью  $\vec{v}$ , направленной перпендикулярно стороне рамки и вектору магнитной индукции  $\vec{B}$  (см. рисунок, вид сверху). ЭДС индукции, генерируемая при этом в рамке, равна  $\mathcal{E}$ . Во сколько раз больше будет ЭДС в этой рамке, если она будет двигаться в этом поле с вдвое большей скоростью?



Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 9 При скорости  $v_1$  поступательного движения прямолинейного проводника в постоянном однородном магнитном поле на концах проводника возникает разность потенциалов  $U$ . При движении этого проводника в том же направлении в той же плоскости со скоростью  $v_2$  разность потенциалов на концах проводника уменьшилась в 4 раза. Чему равно отношение скоростей  $\frac{v_2}{v_1}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 10 При скорости  $v_1$  поступательного движения прямолинейного проводника в постоянном однородном магнитном поле на концах проводника возникает разность потенциалов  $U$ . При движении этого проводника в том же направлении в той же плоскости со скоростью  $v_2$  разность потенциалов на концах проводника увеличилась в 2 раза. Чему равно отношение скоростей  $\frac{v_2}{v_1}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

### Индуктивность. ЭДС самоиндукции

- 1 Индуктивность витка проволоки равна  $3 \cdot 10^{-3}$  Гн. Определите магнитный поток через поверхность, ограниченную витком, если сила тока в витке равна 4 А.

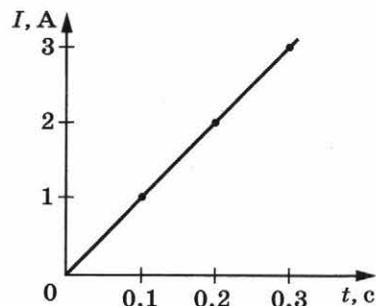
Ответ: \_\_\_\_\_ мВб.

- 2 Индуктивность витка проволоки равна  $2 \cdot 10^{-3}$  Гн. При какой силе тока в витке магнитный поток через поверхность, ограниченную витком, равен 12 мВб?

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

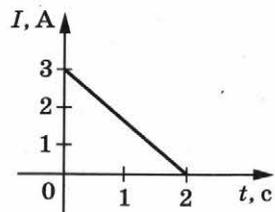
- 3 Сила тока в катушке индуктивностью 0,1 Гн изменяется с течением времени так, как показано на графике (см. рисунок). Определите модуль ЭДС самоиндукции, возникающую в катушке.

Ответ: \_\_\_\_\_ В.



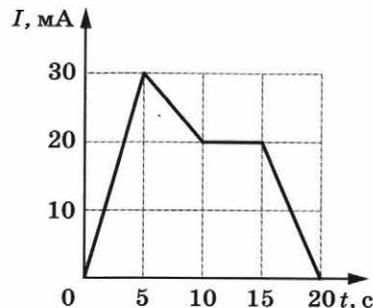
- 4 На рисунке представлен график изменения силы тока с течением времени в катушке индуктивностью  $L = 6$  мГн. Определите модуль ЭДС самоиндукции.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.



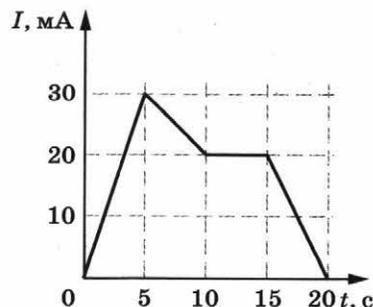
- 5 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в электрической цепи, индуктивность которой 1 мГн. Определите модуль ЭДС самоиндукции в интервале времени от 0 до 5 с.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкВ.



- 6 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в электрической цепи, индуктивность которой 1 мГн. Определите модуль ЭДС самоиндукции в интервале времени от 15 до 20 с.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкВ.



7 В проводнике индуктивностью 5 мГн сила тока в течение 0,2 с равномерно возрастает с 2 А до какого-то конечного значения. При этом в проводнике возникает ЭДС самоиндукции 0,2 В. Определите конечное значение силы тока в проводнике.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

8 В проводнике индуктивностью 3 мГн сила тока в течение 0,4 с равномерно возрастает с некоторого значения до 10 А. При этом в проводнике возникает ЭДС самоиндукции 0,03 В. Определите начальное значение силы тока в проводнике.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

### Энергия магнитного поля катушки с током

1 Чему равна индуктивность катушки, если при силе тока 4 А энергия её магнитного поля равна 0,01 Дж?

Ответ: \_\_\_\_\_ мГн.

2 Определите энергию магнитного поля катушки индуктивностью  $2 \cdot 10^{-4}$  Гн при силе тока в ней 3 А.

Ответ: \_\_\_\_\_ мДж.

3 Индуктивность катушки увеличили в 2 раза, а силу тока в ней уменьшили в 2 раза. Во сколько раз при этом уменьшилась энергия магнитного поля катушки?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

4 Индуктивность катушки и силу тока в ней увеличили в 2 раза. Во сколько раз увеличилась при этом энергия магнитного поля катушки?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

5 Определите энергию магнитного поля катушки, в которой при силе тока 10 А возникает магнитный поток 1 Вб.

Ответ: \_\_\_\_\_ Дж.

6 Определите магнитный поток, пронизывающий катушку, если при силе тока 5 А энергия магнитного поля катушки составляет 2 Дж.

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

### Колебательный контур

1 Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . Во сколько раз увеличится период свободных электромагнитных колебаний в этом контуре, если электроёмкость конденсатора и индуктивность катушки увеличить в 3 раза?

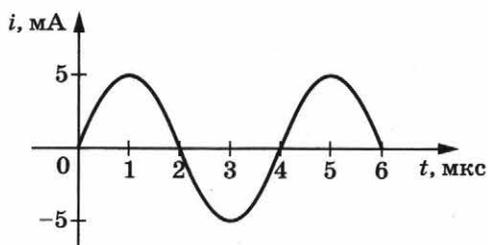
Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 2 Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . Во сколько раз увеличится период собственных колебаний контура, если его индуктивность увеличить в 10 раз, а ёмкость уменьшить в 2,5 раза?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

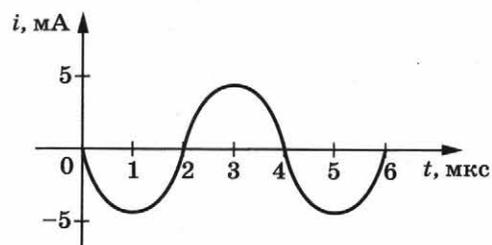
- 3 На рисунке приведён график зависимости силы тока  $i$  от времени  $t$  при свободных гармонических колебаниях в колебательном контуре. Каким станет период свободных колебаний в контуре, если конденсатор в этом контуре заменить на другой конденсатор, ёмкость которого в 4 раза меньше?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.



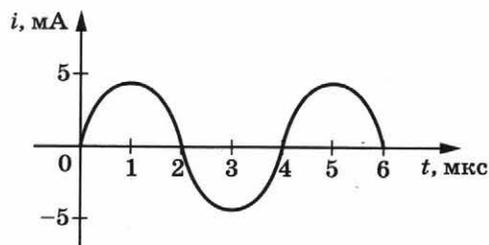
- 4 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре при свободных колебаниях. Каким станет период собственных колебаний контура, если индуктивность катушки увеличить в 4 раза?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.



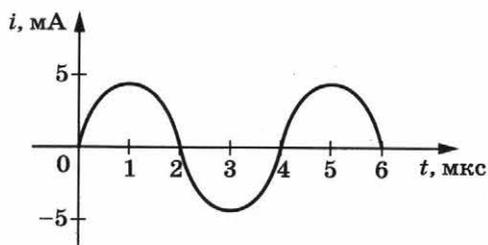
- 5 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. Чему равен период колебаний энергии магнитного поля катушки?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.



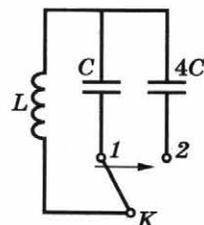
- 6 На рисунке приведён график гармонических колебаний тока в колебательном контуре. Если катушку в этом контуре заменить на другую катушку, индуктивность которой в 4 раза меньше, то каким станет период колебаний магнитного поля катушки?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

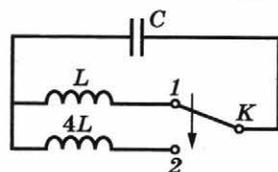


- 7 Если ключ  $K$  находится в положении 1, то период собственных электромагнитных колебаний в контуре (см. рисунок) равен 3 мс. Каким станет период собственных электромагнитных колебаний в контуре, если ключ перевести из положения 1 в положение 2?

Ответ: \_\_\_\_\_ мс.

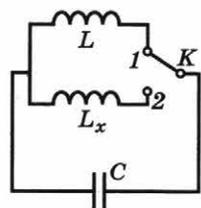


- 8 Если ключ  $K$  находится в положении 1, то частота собственных электромагнитных колебаний в контуре (см. рисунок) равна 4 кГц. Какой станет частота собственных электромагнитных колебаний в контуре, если ключ перевести из положения 1 в положение 2?



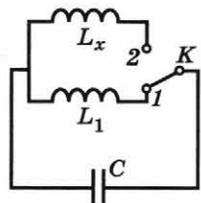
Ответ: \_\_\_\_\_ кГц.

- 9 При переводе ключа  $K$  из положения 1 в положение 2 период собственных электромагнитных колебаний в контуре увеличился в 3 раза. Во сколько раз индуктивность  $L_x$  катушки в контуре (см. рисунок) больше  $L$ ?



Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 10 При переводе ключа  $K$  из положения 1 в положение 2 период собственных электромагнитных колебаний в контуре уменьшился в 2 раза. Во сколько раз индуктивность  $L_1$  катушки в контуре (см. рисунок) больше  $L_x$ ?



Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

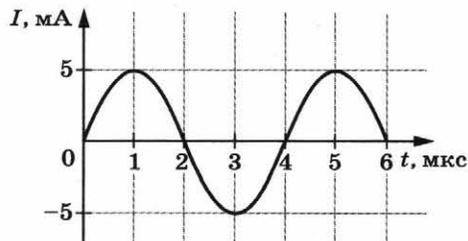
- 11 Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и конденсатора. В нём наблюдаются гармонические электромагнитные колебания с периодом 6 мкс. Максимальный заряд одной из обкладок конденсатора при этих колебаниях равен 4 мкКл. Каким будет модуль заряда этой обкладки в момент времени  $t = 1,5$  мкс, если в начальный момент времени её заряд равен нулю?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкКл.

- 12 Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и конденсатора. В нём наблюдаются гармонические электромагнитные колебания с периодом 8 мкс. Максимальная сила тока в катушке индуктивности равна 5 мА. Какой будет сила тока в катушке в момент времени  $t = 6$  мкс, если в начальный момент времени сила тока равна нулю?

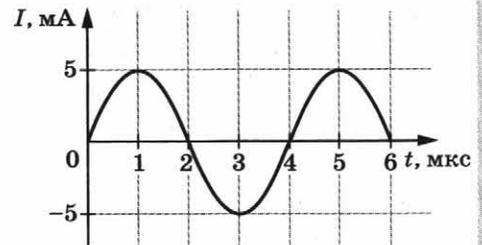
Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

- 13 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. Сколько раз энергия катушки достигает максимального значения в течение первых 6 мкс после начала отсчёта?



Ответ: \_\_\_\_\_.

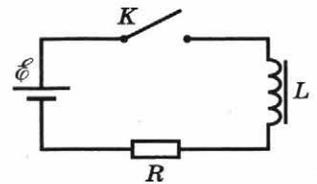
- 14 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре. Сколько раз энергия электрического поля конденсатора достигает минимального значения в течение первых 4 мкс после начала отсчёта?



Ответ: \_\_\_\_\_.

### ЗАДАНИЕ 16 ЧАСТИ 1

- 1 Катушка индуктивности подключена к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 60$  Ом (см. рисунок). В момент  $t = 0$  ключ  $K$  замыкают. Значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени с точностью  $\pm 0,01$  А, представлены в таблице.



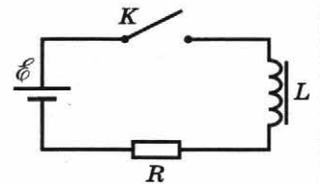
$t, \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$I, \text{ А}$	0	0,12	0,19	0,23	0,26	0,28	0,29	0,30	0,30

Выберите **два** верных утверждения о процессах, происходящих в цепи.

- 1) энергия катушки максимальна в момент времени  $t = 0$  с
- 2) напряжение на катушке максимально в момент времени  $t = 6,0$  с
- 3) модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 2,0$  с равен 2,4 В
- 4) напряжение на резисторе в момент времени  $t = 1,0$  с равно 1,9 В
- 5) ЭДС источника тока равна 18 В

Ответ:

- 2 Катушка индуктивности подключена к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 40$  Ом (см. рисунок). В момент  $t = 0$  ключ  $K$  замыкают. Значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени с точностью  $\pm 0,01$  А, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$I, \text{ А}$	0	0,12	0,19	0,23	0,26	0,29	0,29	0,30	0,30

Выберите **два** утверждения, соответствующие результатам этого опыта, и укажите их номера.

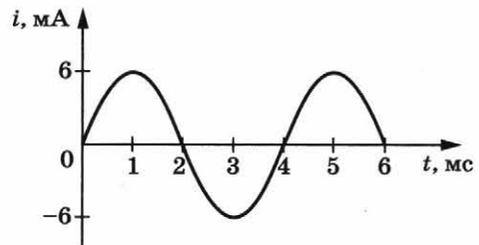
- 1) модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 1,0$  с равен 7,6 В

- 2) модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 2,0$  с равен  $1,6$  В
- 3) ЭДС источника тока равна  $4,8$  В
- 4) напряжение на резисторе с течением времени монотонно возрастает
- 5) к моменту времени  $t = 3$  с ЭДС самоиндукции катушки равна нулю

Ответ:

--	--

- 3 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, образованном конденсатором и катушкой, индуктивность которой равна  $0,3$  Гн. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.

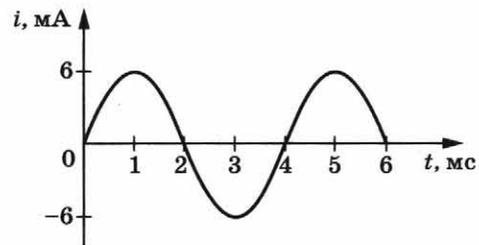


- 1) период электромагнитных колебаний равен  $4$  мс
- 2) максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно  $5,4$  мкДж
- 3) в момент времени  $4$  мс заряд конденсатора равен нулю
- 4) в момент времени  $3$  мс энергия магнитного поля катушки достигает своего минимума
- 5) за первые  $6$  мс энергия магнитного поля катушки достигла своего максимума  $2$  раза

Ответ:

--	--

- 4 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в колебательном контуре, образованном конденсатором и катушкой, индуктивность которой равна  $0,3$  Гн. Из приведённого ниже списка выберите **два** правильных утверждения и укажите их номера.



- 1) период электромагнитных колебаний равен  $5$  мс
- 2) максимальное значение энергии электрического поля конденсатора равно  $0,9$  мкДж
- 3) в момент времени  $3$  мс заряд конденсатора равен нулю
- 4) в момент времени  $4$  мс энергия магнитного поля катушки достигает своего минимума
- 5) за первые  $6$  мс энергия магнитного поля катушки достигла своего максимума  $2$  раза

Ответ:

--	--

- 5 В идеальном колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивности, происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице приведены значения разности потенциалов на обкладках конденсатора в последовательные моменты времени.

$t$ , мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$U$ , В	0,0	2,8	4,0	2,8	0,0	-2,8	-4,0	-2,8	0,0

Выберите **два** верных утверждения о процессе, происходящем в контуре.

- 1) период колебаний равен  $4 \cdot 10^{-6}$  с
- 2) частота колебаний равна 125 кГц
- 3) в момент  $t = 6 \cdot 10^{-6}$  с энергия конденсатора максимальна
- 4) в момент  $t = 2 \cdot 10^{-6}$  с сила тока в контуре максимальна
- 5) в момент  $t = 8 \cdot 10^{-6}$  с энергия катушки минимальна

Ответ:

--	--

- 6 В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. Изменение заряда конденсатора в колебательном контуре с течением времени показано в таблице.

$t$ , $10^{-6}$ с	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$q$ , $10^{-9}$ Кл	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

Выберите **два** верных утверждения о процессе, происходящем в контуре.

- 1) период колебаний равен  $16 \cdot 10^{-6}$  с
- 2) в момент  $t = 12 \cdot 10^{-6}$  с энергия катушки минимальна
- 3) в момент  $t = 8 \cdot 10^{-6}$  с энергия конденсатора максимальна
- 4) в момент  $t = 12 \cdot 10^{-6}$  с сила тока в контуре равна 0
- 5) частота колебаний равна 25 кГц

Ответ:

--	--

## ЗАДАНИЕ 17 ЧАСТИ 1

- 1 При настройке колебательного контура радиопередатчика ёмкость его конденсатора уменьшили. Как при этом изменились период колебаний тока в контуре и длина волны излучения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Период колебаний тока в контуре	Длина волны излучения

2 При настройке колебательного контура радиопередатчика его индуктивность уменьшили. Как при этом изменятся частота излучаемых волн и длина волны излучения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота излучаемых волн	Длина волны излучения

### ЗАДАНИЕ 18 ЧАСТИ 1

1 Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . При свободных электромагнитных колебаниях, происходящих в этом контуре, максимальный заряд конденсатора равен  $Q$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Сопротивлением контура можно пренебречь.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) максимальная сила тока, протекающая через катушку

Б) максимальная энергия магнитного поля катушки

ФОРМУЛЫ

1)  $\frac{Q^2}{2C}$

2)  $\frac{Q}{\sqrt{LC}}$

3)  $\frac{CQ^2}{2}$

4)  $Q\sqrt{LC}$

Ответ:

А	Б

2 Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . При свободных электромагнитных колебаниях, происходящих в этом контуре, максимальная сила тока, протекающего через катушку индуктивности, равна  $I$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать.

К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Соппротивлением контура пренебречь.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) максимальный заряд пластины конденсатора  
Б) максимальная энергия электрического поля конденсатора

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{CI^2}{2}$   
2)  $\frac{I}{\sqrt{LC}}$   
3)  $\frac{LI^2}{2}$   
4)  $I\sqrt{LC}$

Ответ:

А	Б

- 3 Идеальный колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивностью 4 мГн. Заряд на пластинах конденсатора изменяется во времени в соответствии с формулой  $q(t) = 2 \cdot 10^{-4} \cdot \cos(5000t)$  (все величины выражены в СИ).

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, выражающими их зависимость от времени в условиях данной задачи. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) сила тока  $i(t)$  в колебательном контуре  
Б) энергия  $W_L(t)$  магнитного поля катушки

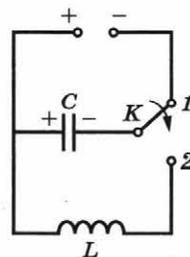
## ФОРМУЛЫ

- 1)  $1 \cdot \cos(5000t + \frac{\pi}{2})$   
2)  $20 \cdot \sin(5000t)$   
3)  $2 \cdot 10^{-3} \cdot \sin^2(5000t)$   
4)  $2 \cdot 10^{-3} \cdot \cos^2(5000t)$

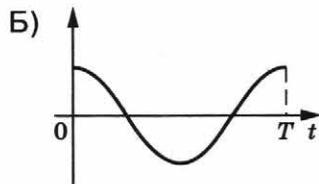
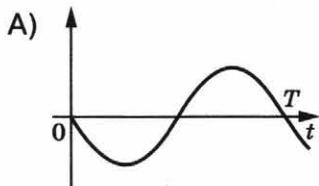
Ответ:

А	Б

- 4 Конденсатор колебательного контура длительное время подключён к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  переключатель  $K$  переводят из положения 1 в положение 2. Приведённые ниже графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после этого ( $T$  — период электромагнитных колебаний в контуре). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ГРАФИКИ



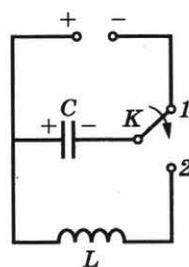
Ответ:

А	Б

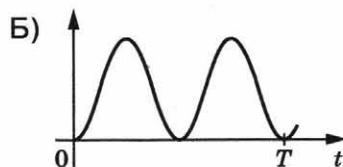
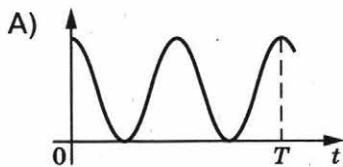
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) сила тока в катушке
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) заряд на левой обкладке конденсатора

5 Конденсатор колебательного контура длительное время подключён к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). В момент времени  $t = 0$  переключатель  $K$  переводят из положения 1 в положение 2. Приведённые ниже графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после этого ( $T$  — период электромагнитных колебаний в контуре). Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ГРАФИКИ



Ответ:

А	Б

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) сила тока в катушке
- 2) энергия магнитного поля катушки
- 3) энергия электрического поля конденсатора
- 4) заряд на левой обкладке конденсатора

## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

Кольцо радиусом 10 см из тонкой проволоки сопротивлением 0,2 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого расположены под углом  $45^\circ$  к плоскости кольца. Определите скорость возрастания магнитной индукции, если за 5 с в кольце выделяется количество теплоты 400 мкДж. Ответ округлите до сотых.

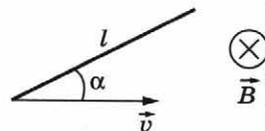
Дано:	Решение:
$r = 0,1 \text{ м}$ $R = 0,2 \text{ Ом}$ $\alpha = 45^\circ$ $Q = 4 \cdot 10^{-4} \text{ Дж}$ $t = 5 \text{ с}$	<p>Изменение индукции магнитного поля согласно закону Фарадея для электромагнитной индукции приводит к появлению ЭДС в кольце: <math>\mathcal{E} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S \cos \alpha</math>, где <math>S = \pi r^2</math> — площадь кольца.</p> <p>Так как кольцо представляет собой замкнутый проводник, то появление ЭДС приведёт к возникновению в нём индукционного тока и нагреванию.</p> <p>По закону Джоуля—Ленца <math>Q = I^2 R \Delta t = \frac{\mathcal{E}^2}{R} \Delta t</math>.</p> <p>В итоге получим</p> $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{1}{\pi r^2 \cos \alpha} \sqrt{\frac{QR}{\Delta t}} = \frac{2}{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2}{5}} \approx 0,18 \text{ Тл/с.}$
$\frac{\Delta B}{\Delta t} = ?$	Ответ: <u>0,18</u> Тл/с.

## Задачи для самостоятельного решения

- 1 Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают проволочный квадратный контур со стороной 20 см под углом  $30^\circ$  к его плоскости. Модуль вектора индукции магнитного поля равен 0,5 Тл. Определите магнитный поток через фигуру.

Ответ: \_\_\_\_\_ Вб.

- 2 Стальной стержень длиной  $l = 20$  см движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью  $v = 4$  м/с. Угол между стержнем и вектором скорости составляет  $30^\circ$  (см. рисунок). Определите ЭДС индукции в стержне, если модуль индукции магнитного поля равен 0,5 Тл.



Ответ: \_\_\_\_\_ В.

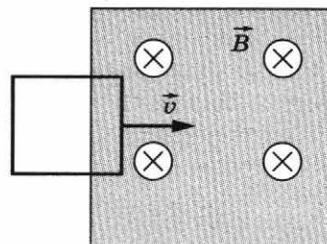
- 3 В катушке сила тока в течение 0,04 с равномерно возрастает с 2 А до 10 А, при этом в катушке возникает ЭДС самоиндукции 0,6 В. Определите индуктивность катушки.

Ответ: \_\_\_\_\_ мГн.

- 4 Кольцо радиусом 15 см из тонкой проволоки сопротивлением 0,2 Ом находится в однородном магнитном поле, линии индукции которого перпендикулярны плоскости кольца. За какое время в кольце выделится количество теплоты 2 мДж, если магнитная индукция убывает со скоростью 0,2 Тл/с? Ответ округлите до целых.

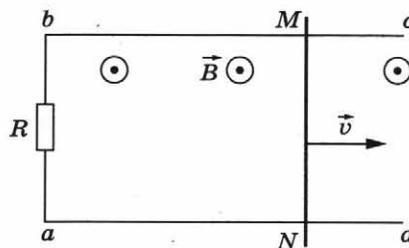
Ответ: \_\_\_\_\_ с.

- 5 Проволочную квадратную рамку сопротивлением 4 Ом и стороной 20 см вдвигают в область однородного магнитного поля индукцией  $B = 50$  мТл (см. рисунок) со скоростью  $v = 1$  м/с. Вектор магнитной индукции поля перпендикулярен плоскости рамки. Определите индукционный ток, возникающий в рамке.



Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

- 6 По параллельным проводникам  $bc$  и  $ad$ , находящимся в вертикальном однородном магнитном поле индукцией  $B$ , со скоростью  $v = 2$  м/с скользит проводящий стержень  $MN$ , который находится в контакте с проводниками (см. рисунок, вид сверху). Расстояние между проводниками  $l = 25$  см. Между проводниками подключён резистор сопротивлением  $R = 4$  Ом. При движении стержня по резистору  $R$  течёт ток  $I = 50$  мА. Чему равна индукция магнитного поля? Сопротивлением стержня и проводников можно пренебречь.



Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

### Пример решения задачи

В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице приведено изменение заряда на одной из обкладок конденсатора в контуре с течением времени.

$t, 10^{-6}$ с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, 10^{-9}$ Кл	4	2,8	0	-2,8	-4	-2,8	0	2,8	4	2,8

Чему равна энергия магнитного поля катушки в момент времени  $3 \cdot 10^{-6}$  с, если ёмкость конденсатора равна 100 пФ? Ответ округлите до целых.

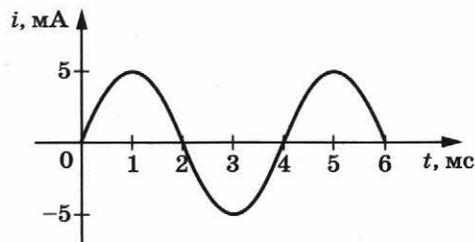
Дано:	Решение:
$C = 100$ пФ = $10^{-10}$ Ф $T = 8 \cdot 10^{-6}$ с $q_{\max} = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл $t = 3 \cdot 10^{-6}$ с $q = -2,8 \cdot 10^{-9}$ Кл	Анализируя таблицу, определяем период электромагнитных колебаний $T = 8 \cdot 10^{-6}$ с и амплитуду заряда конденсатора $q_{\max} = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Согласно закону сохранения энергии в колебательном контуре $W_{\max} = W_C + W_L$ или $\frac{q_{\max}^2}{2C} = \frac{q^2}{2C} + W_L$ . В итоге $W_L = \frac{q_{\max}^2 - q^2}{2C} = \frac{(4 \cdot 10^{-9})^2 - (2,8 \cdot 10^{-9})^2}{2 \cdot 10^{-10}} \approx 41 \cdot 10^{-9} \text{ Дж} = 41 \text{ нДж}.$
$W_L$ — ?	Ответ: _____ 41 _____ нДж.

### Задачи для самостоятельного решения

- 7 В идеальном колебательном контуре происходят электромагнитные колебания, при этом напряжение на конденсаторе, ёмкость которого равна 40 мкФ, изменяется с течением времени по закону  $U(t) = 50 \sin(1000t)$ , где все величины выражены в СИ. Найдите амплитуду колебаний силы тока в контуре.

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 8 На рисунке приведён график зависимости силы тока  $i$  от времени  $t$  в колебательном контуре, состоящем из конденсатора и катушки индуктивностью 0,32 Гн. Определите максимальное значение энергии электрического поля конденсатора.



Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

- 9 Колебательный контур подключён к источнику переменного тока. В таблице приведены значения заряда конденсатора с течением времени.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$q, 10^{-9} \text{ Кл}$	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

При какой индуктивности катушки в контуре наступит резонанс при этой частоте колебаний, если ёмкость конденсатора равна 100 пФ? Ответ округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мГн.

- 10 В таблице приведено изменение тока в катушке идеального колебательного контура с течением времени. Чему равна максимальная энергия конденсатора, если индуктивность катушки равна 4 мГн?

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$I, 10^{-3} \text{ А}$	10	7	0	-7	-10	-7	0	7	10	7

Ответ: \_\_\_\_\_ нДж.

- 11 В таблице приведено изменение тока в катушке идеального колебательного контура при свободных колебаниях с течением времени. Вычислите по этим данным максимальный заряд конденсатора. Ответ в нанокулонах округлите до целых.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5
$I, 10^{-3} \text{ А}$	16	11	0	-11	-16	-11	0	11	16	11

Ответ: \_\_\_\_\_ нКл.

- 12 В таблице приведено изменение напряжения на конденсаторе идеального колебательного контура при свободных колебаниях с течением времени. Найдите энергию конденсатора в момент времени  $5 \cdot 10^{-6}$  с, если индуктивность катушки 4 мГн. Ответ в микроджоулях округлите до сотых.

$t, 10^{-6}$ с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U, В$	50	35	0	-35	-50	-35	0	35	50	35

Ответ: \_\_\_\_\_ мкДж.

### Пример решения задачи

В двух идеальных колебательных контурах происходят электромагнитные колебания. Амплитудное значение заряда конденсатора во втором контуре равно 9 мкКл. Амплитуда колебаний силы тока в первом контуре в 3 раза меньше, а период его колебаний в 2 раза больше, чем во втором контуре. Определите амплитудное значение заряда конденсатора в первом контуре.

Дано:	Решение:
$q_{\max 2} = 9 \text{ мкКл}$ $\frac{i_{\max 1}}{i_{\max 2}} = \frac{1}{3}$ $\frac{T_1}{T_2} = 2$	<p>Амплитудные значения заряда конденсатора и силы тока в катушке колебательного контура связаны соотношением <math>i_{\max} = q_{\max} \omega</math>, где <math>\omega</math> — циклическая частота колебаний.</p> <p>В свою очередь, циклическая частота связана с периодом колебаний: <math>\omega = \frac{2\pi}{T}</math>.</p> <p>Таким образом, <math>i_{\max} = q_{\max} \frac{2\pi}{T}</math>.</p> <p>Составим отношение <math>\frac{i_{\max 1}}{i_{\max 2}} = \frac{q_{\max 1}}{q_{\max 2}} \cdot \frac{T_2}{T_1}</math>.</p> <p>В итоге <math>q_{\max 1} = q_{\max 2} \cdot \frac{i_{\max 1}}{i_{\max 2}} \cdot \frac{T_1}{T_2} = 9 \cdot \frac{1}{3} \cdot 2 = 6 \text{ мкКл}</math>.</p>
$q_{\max 1} = ?$	Ответ: _____ 6 _____ мкКл.

### Задачи для самостоятельного решения

- 13 В двух идеальных колебательных контурах происходят электромагнитные колебания. Амплитуда силы тока в первом контуре 5 мА. Чему равно амплитудное значение силы тока во втором контуре, если период колебаний в нём в 2 раза меньше, а максимальное значение заряда конденсатора в 3 раза больше, чем в первом?

Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

- 14 Напряжение на концах первичной обмотки трансформатора равно 500 В, на концах вторичной — 10 В. Сила тока во вторичной обмотке 17 А. Чему равна сила тока в первичной обмотке трансформатора, если коэффициент полезного действия равен 85%?

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 15 Амплитуда напряжения на концах первичной обмотки трансформатора 310 В, сила тока в ней 0,5 А. Напряжение на концах вторичной обмотки 31 В, сила тока в ней 4 А. Чему равен коэффициент полезного действия трансформатора?

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

### ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ»

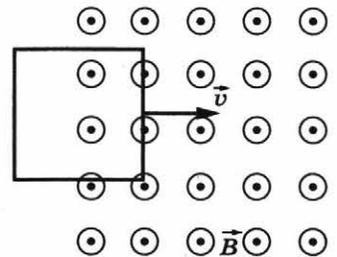
- 1 Линии индукции однородного магнитного поля пронизывают рамку площадью  $1 \text{ м}^2$  под углом  $30^\circ$  к её поверхности, создавая магнитный поток, равный  $0,1 \text{ Вб}$ . Чему равен модуль вектора индукции магнитного поля?

Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

- 2 В опыте по наблюдению ЭДС электромагнитной индукции квадратная рамка из тонкого провода со стороной квадрата  $b$  находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости рамки. Индукция поля растёт за время  $t$  по линейному закону от 0 до максимального значения  $B_{\text{max}}$ . Во сколько раз уменьшится ЭДС индукции, возникающая в рамке, если  $b$  в 2 раза уменьшить?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 3 В некоторой области пространства создано однородное магнитное поле (см. рисунок). Квадратная металлическая рамка движется через границу этой области с постоянной скоростью  $\vec{v}$ , направленной вдоль плоскости рамки и перпендикулярно вектору магнитной индукции  $\vec{B}$ . ЭДС индукции, генерируемая при этом в рамке, равна  $4 \text{ мВ}$ . Какой станет ЭДС, если рамка будет двигаться со



скоростью  $\frac{v}{4}$ ?

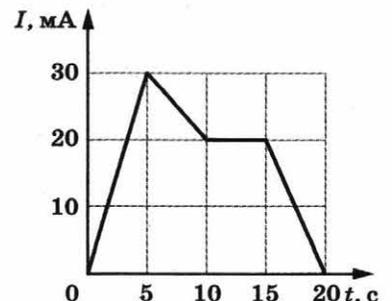
Ответ: \_\_\_\_\_ мВ.

- 4 При какой силе тока в витке проволоки индуктивностью  $4 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$  создаётся магнитный поток  $12 \text{ мВб}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ А.

- 5 На рисунке приведён график зависимости силы тока от времени в электрической цепи, индуктивность которой  $1 \text{ мГн}$ . Определите модуль ЭДС самоиндукции в интервале времени от 5 до 10 с.

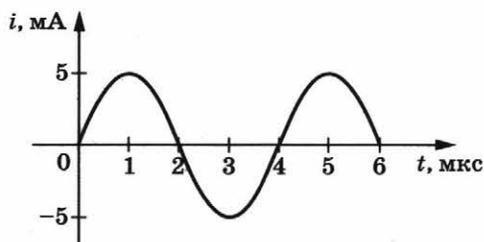
Ответ: \_\_\_\_\_ мкВ.



- 6 Во сколько раз надо уменьшить индуктивность катушки, чтобы при неизменном значении силы тока в ней энергия магнитного поля катушки уменьшилась в 4 раза?

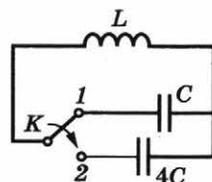
Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 7 На рисунке приведён график зависимости силы тока  $i$  от времени  $t$  при свободных гармонических колебаниях в колебательном контуре. Каким станет период свободных колебаний в контуре, если катушку индуктивности в этом контуре заменить на другую катушку, индуктивность которой в 9 раз больше?



Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.

- 8 Во сколько раз уменьшится частота собственных электромагнитных колебаний в контуре (см. рисунок), если ключ  $K$  перевести из положения 1 в положение 2?

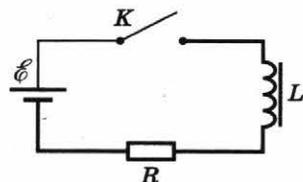


Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 9 Колебательный контур состоит из катушки индуктивности и конденсатора. В нём наблюдаются гармонические электромагнитные колебания с периодом 8 мкс. Максимальный заряд одной из обкладок конденсатора при этих колебаниях равен 5 мкКл. Каким будет модуль заряда этой обкладки в момент времени  $t = 4$  мкс, если в начальный момент времени её заряд равен нулю?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкКл.

- 10 Катушка индуктивности подключена к источнику тока с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением через резистор  $R = 60$  Ом (см. рисунок). В момент  $t = 0$  ключ  $K$  замыкают. Значения силы тока в цепи, измеренные в последовательные моменты времени с точностью 0,01 А, представлены в таблице.



$t, \text{ с}$	0	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$I, \text{ А}$	0	0,12	0,19	0,23	0,26	0,28	0,29	0,30	0,30

Выберите **два** верных утверждения о процессах, происходящих в цепи.

- энергия катушки максимальна в момент времени  $t = 0$  с
- напряжение на катушке максимально в момент времени  $t = 0$  с
- напряжение на резисторе в момент времени  $t = 2,0$  с равно 2,6 В
- модуль ЭДС самоиндукции катушки в момент времени  $t = 1,5$  с равен 4,2 В
- ЭДС источника тока равна 15 В

Ответ:

--	--

- 11 В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. Изменение заряда конденсатора в колебательном контуре с течением времени показано в таблице.

$t, 10^{-6} \text{ с}$	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
$q, 10^{-9} \text{ Кл}$	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

Выберите **два** верных утверждения о процессе, происходящем в контуре.

- 1) период колебаний равен  $4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$
- 2) в момент  $t = 4 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  энергия катушки максимальна
- 3) в момент  $t = 8 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  энергия конденсатора минимальна
- 4) в момент  $t = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с}$  сила тока в контуре равна 0
- 5) частота колебаний равна 62,5 кГц

Ответ:

--	--

- 12 При настройке колебательного контура радиопередатчика ёмкость входящего в него конденсатора увеличили. Как при этом изменились период колебаний тока в контуре и длина волны излучения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Период колебаний тока в контуре	Длина волны излучения

- 13 Колебательный контур состоит из конденсатора ёмкостью  $C$  и катушки индуктивностью  $L$ . При электромагнитных колебаниях, происходящих в этом контуре, максимальный заряд пластины конденсатора равен  $q$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами. Сопротивлением контура можно пренебречь.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) максимальная энергия электрического поля конденсатора

Б) максимальная сила тока, протекающего через катушку

ФОРМУЛЫ

1)  $\frac{q^2}{2C}$

2)  $q\sqrt{\frac{C}{L}}$

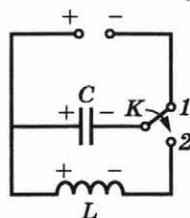
3)  $\frac{q}{\sqrt{LC}}$

4)  $\frac{Cq^2}{2}$

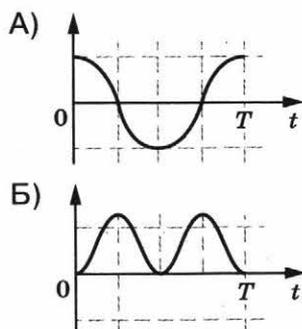
Ответ:

А	Б

- 14 Конденсатор колебательного контура подключён к источнику постоянного напряжения (см. рисунок). Графики А и Б представляют изменения физических величин, характеризующих колебания в контуре после переключения переключателя  $K$  в положение 2. Установите соответствие между графиками и физическими величинами, зависимости которых от времени эти графики могут представлять. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго.



ГРАФИКИ



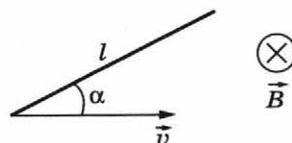
ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- 1) заряд левой обкладки конденсатора
- 2) энергия электрического поля конденсатора
- 3) сила тока в катушке
- 4) энергия магнитного поля катушки

Ответ:

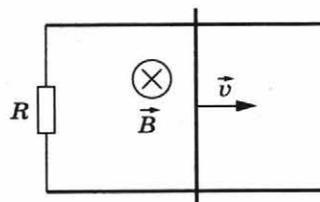
А	Б

- 15 Проводящий стержень длиной  $l = 20$  см движется поступательно в однородном магнитном поле со скоростью  $v = 1$  м/с так, что угол между стержнем и вектором скорости  $\alpha = 30^\circ$  (см. рисунок). ЭДС индукции в стержне равна 0,05 В. Чему равна индукция магнитного поля?



Ответ: \_\_\_\_\_ Тл.

- 16 Прямоугольный контур, образованный двумя рельсами и двумя перемычками, находится в однородном магнитном поле, перпендикулярном плоскости контура. Правая перемычка скользит по рельсам, сохраняя надёжный контакт с ними. Известны величины: индукция магнитного поля  $B = 0,1$  Тл, расстояние между рельсами  $l = 10$  см, скорость движения перемычки  $v = 2$  м/с, сопротивление контура  $R = 2$  Ом. Чему равна сила индукционного тока в контуре?



Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

- 17 В идеальном колебательном контуре происходят свободные электромагнитные колебания. В таблице показано, как изменялся заряд конденсатора в колебательном контуре с течением времени.

$t, 10^{-6}$ с	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$q, 10^{-9}$ Кл	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

Вычислите по этим данным максимальное значение силы тока в катушке. Ответ выразите (в мА), округлив его до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мА.

## Уроки 56—60. Электромагнитные волны. Оптика

## СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.5.5. Электромагнитные волны обнаруживают **свойства**, общие для волн любой природы. В однородной среде они распространяются прямолинейно. На границе раздела двух сред они частично преломляются и частично отражаются. Наблюдаются интерференция, дифракция и дисперсия электромагнитных волн. Электромагнитная волна в вакууме является поперечной волной: векторы напряжённости электрического поля  $\vec{E}$ , индукции магнитного поля  $\vec{B}$  и скорости распространения волны  $\vec{c}$  взаимно перпендикулярны, т. е.  $\vec{E} \perp \vec{B} \perp \vec{c}$ .

3.5.6. **Шкала электромагнитных волн.** Диапазоны электромагнитных волн в порядке убывания длины волны (увеличения частоты) расставлены так:

- радиоволны;
- инфракрасное (ИК) излучение;
- видимый свет;
- ультрафиолетовое (УФ) излучение;
- рентгеновское излучение;
- гамма-излучение.

Радиоволны используются в радио- и телевидении, в радиолокации, в СВЧ-печах. ИК-излучение реализует теплопередачу. Видимый свет предоставляет нам, по некоторым данным, около 90 % информации об окружающем мире. УФ-излучение вызывает загар и используется для обеззараживания помещений и поверхностей предметов, включая пищевые продукты. Рентгеновское излучение широко используется в медицине. Гамма-излучение содержит информацию о ядерных реакциях и взаимодействии элементарных частиц.

## 3.6. ОПТИКА

3.6.1. В однородной среде свет распространяется **прямолинейно**. **Луч света** — модель узкого пучка света в геометрической оптике. В однородной среде луч света — прямая линия.

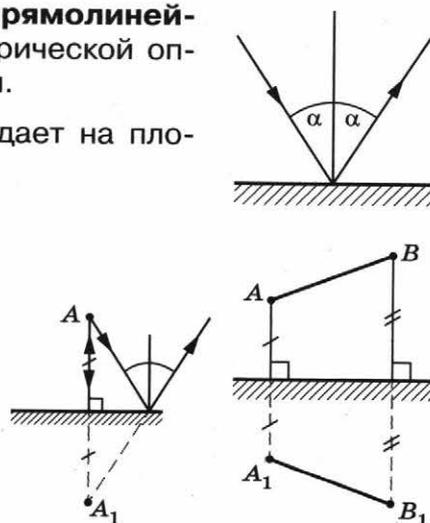
3.6.2. Законы отражения света. Пусть луч света падает на плоское зеркало. Тогда:

- 1) падающий луч, отражённый луч и перпендикуляр к зеркалу, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости (см. рисунок);
- 2) угол падения равен углу отражения.

3.6.3. Построение изображений в плоском зеркале представлено на рисунке. Изображение предмета в плоском зеркале — мнимое, прямое, равного с предметом размера.

3.6.4. **Законы преломления света.** Пусть луч света падает на плоскую границу раздела двух прозрачных сред с показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Тогда:

- 1) падающий луч, преломлённый луч и перпендикуляр к границе раздела сред, восстановленный в точке падения, лежат в одной плоскости (см. рисунок);



2)  $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$  (закон Снеллиуса).

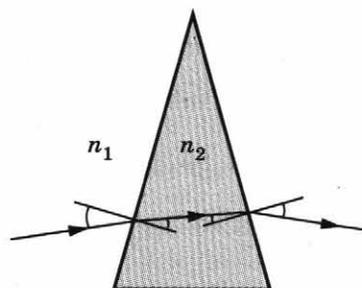
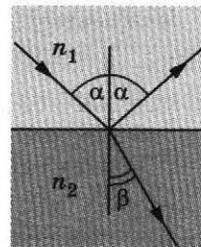
В законе Снеллиуса упоминается **абсолютный показатель преломления** среды:  $n_{\text{абс}} = n = \frac{c}{v}$ ,

где  $c$  — модуль скорости света в вакууме,  $v$  — модуль скорости света в данной среде.

**Относительный показатель преломления:**  $n_{\text{отн}} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$ .

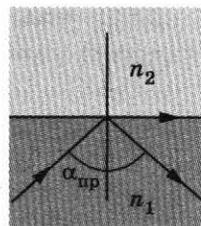
При переходе через границу раздела двух сред частота колебаний в монохроматической световой волне не меняется:  $v_1 = v_2$ . Поэтому при этом переходе меняется длина волны монохроматического света, подчиняясь условию  $n_1 \lambda_1 = n_2 \lambda_2$ .

**Ход лучей в призме** показан на рисунке для случая  $n_1 < n_2$ . Проходя через призму, луч света отклоняется к её основанию. В случае  $n_1 > n_2$  луч света, проходя через призму, отклоняется от её основания.



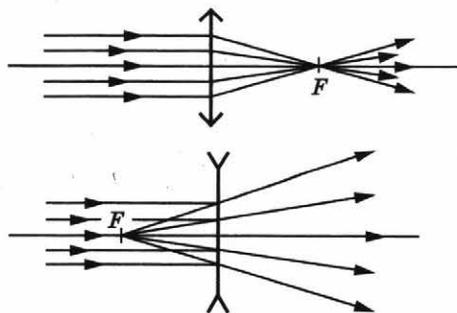
3.6.5. Если луч света падает на границу раздела двух сред из среды с бóльшим показателем преломления в среду с меньшим показателем преломления, то при больших углах падения наблюдается **полное внутреннее отражение** (отсутствует преломлённый луч во второй среде). **Предельный угол полного внутреннего отражения:**

$$\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n_{\text{отн}}} = \frac{n_2}{n_1} < 1.$$



3.6.6. **Линза** представляет собой прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Прямая, проходящая через центры этих поверхностей, является главной оптической осью линзы. Если луч света, идущий параллельно главной оптической оси линзы, после преломления в линзе пересекает её главную оптическую ось, то линза называется **собирающей**. Если луч света, идущий параллельно главной оптической оси линзы, после преломления в линзе отклоняется в сторону от её главной оптической оси, то линза называется **рассеивающей**. Если показатель преломления материала линзы больше показателя преломления окружающей среды (пример: стеклянная линза в воздухе), то линза, более толстая в середине, чем по краям, будет собирающей, а линза, более тонкая в середине, чем по краям, будет рассеивающей. Если показатель преломления материала линзы меньше показателя преломления окружающей среды (пример: заполненная воздухом полость во льду), то линза, более толстая в середине, чем по краям, будет рассеивающей, а линза, более тонкая в середине, чем по краям, будет собирающей.

Если толщина линзы много меньше радиусов её сферических поверхностей, то линза называется **тонкой**. Пучок лучей света, параллельных главной оптической оси тонкой собирающей линзы, пройдя через линзу, соберётся за ней в точке, именуемой фокусом линзы  $F$  и расположенной на её главной оптической оси (см. рисунок). Такой же пучок света, пройдя через тонкую рассеивающую линзу, распространяется за ней как расходящийся пучок лучей, продолжения которых исходят из точки, именуемой фокусом линзы  $F$  и расположенной на её главной оптической оси (см. рисунок).



Расстояние от фокуса линзы до её центра называется **фокусным расстоянием**. Фокусное расстояние рассеивающих линз будем считать **отрицательным**.

**Оптическая сила линзы**  $D$  определена следующим образом:  $D = \frac{1}{F}$ .

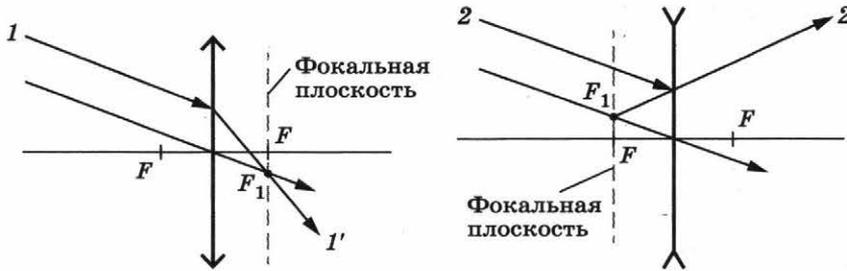
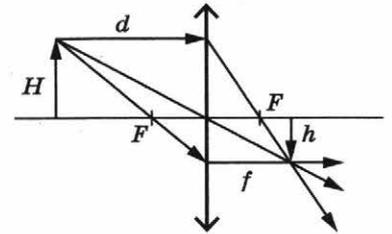
Замечание. Лучи, падающие на линзу на малом расстоянии  $h$  ( $h \ll |F|$ ) от её главной оптической оси и при этом под малыми углами  $\alpha$  ( $|\alpha| \ll 1$  в радианах) относительно её главной оптической оси, назовём **параксиальными**. В определении фокуса линзы, в формуле тонкой линзы и в построениях изображений в тонких линзах имеются в виду только параксиальные лучи.

3.6.7. **Формула тонкой линзы:**  $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$  (см. рисунок).

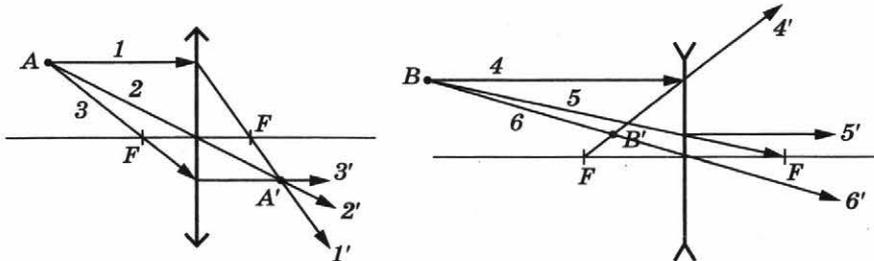
**Увеличение, даваемое линзой:**  $\Gamma = \frac{h}{H} = \frac{f}{d}$ .

Замечание. Формула тонкой линзы в этом виде применима и к рассеивающим линзам, если считать, что для них  $F < 0$ .

3.6.8. **Ход луча, прошедшего через линзу под произвольным углом к её главной оптической оси** (см. рисунок).

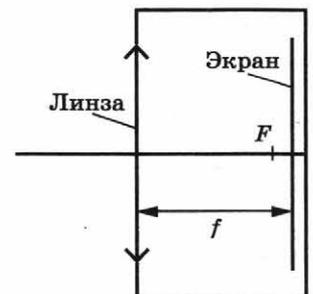


**Построение изображений точки и отрезка прямой** в собирающих и рассеивающих линзах и их системах выполняется с помощью рассмотренных только что произвольных лучей, а также с помощью лучей специального положения, показанных на следующем рисунке:



Изображением точки в тонких линзах является точка, а изображением отрезка прямой — отрезок прямой.

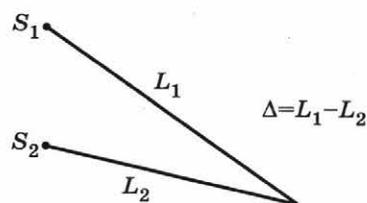
3.6.9. **Фотоаппарат как оптический прибор.** Объектив фотоаппарата, подобно тонкой линзе, создаёт на экране (матрице или фотоплёнке) действительное изображение предмета. Чёткости изображения достигают изменением расстояния  $f$  от объектива до экрана (см. рисунок).



**Глаз как оптическая система.** Геометрия глаза, за исключением хрусталика, практически неуправляема. Поэтому чёткое изображение на сетчатке глаза предметов, находящихся на разном удалении от человека, получается за счёт изменения формы хрусталика глаза. Таким способом меняется фокусное расстояние оптической системы глаза, и при одном и том же расстоянии от линзы (хрусталика) до экрана (сетчатки) на экране получают чёткие изображения предметов, от близких до далёких.

**3.6.10. Интерференция света** — увеличение или уменьшение результирующей амплитуды световых волн при их наложении (суперпозиции). В результате возникает интерференционная картина — распределение в пространстве более светлых и более тёмных участков. Для создания устойчивой интерференционной картины (неподвижной или меняющейся очень медленно, чтобы человек успевал воспринимать эту картину) требуются **когерентные источники** света. Это значит, что источники излучают волны с постоянной разностью фаз. Необходимым условием для этого является совпадение частот колебаний в интерферирующих волнах. Если разность фаз колебаний световых волн в источниках равна нулю, источники называются синфазными.

Условия наблюдения максимумов и минимумов в интерференционной картине от двух синфазных когерентных источников, излучающих монохроматический свет с длиной волны  $\lambda$  (см. рисунок):



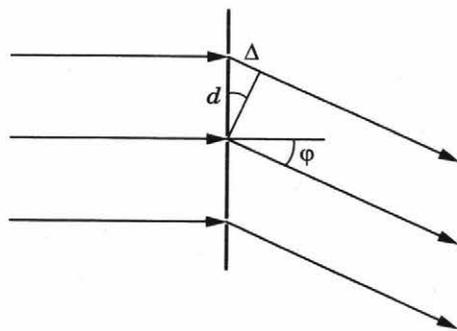
максимумы:  $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

минимумы:  $\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$ ,  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$

**3.6.11. Дифракция света** — отклонение от законов геометрической оптики при распространении света, в частности проникновение света в область геометрической тени.

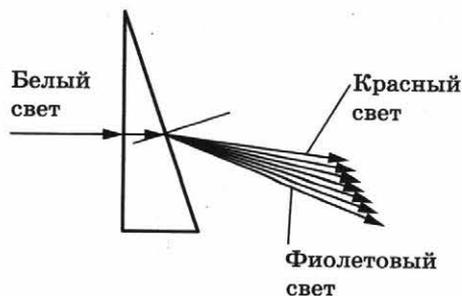
**Дифракционная решётка** — оптический прибор в виде совокупности большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность. Расстояние  $d$ , через которое повторяются штрихи дифракционной решётки, называется её периодом (см. рисунок).

Условие наблюдения главных максимумов при нормальном падении монохроматического света с длиной волны  $\lambda$  на решётку с периодом  $d$ :



$$\Delta = d \sin \varphi_m = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$$

**3.6.12. Дисперсия света** — зависимость показателя преломления вещества от длины волны света. Примером дисперсии является разложение белого света в спектр при его прохождении через призму.



## Задания для самостоятельной работы

## ЗАДАНИЕ 15 ЧАСТИ 1

1 Луч света падает на плоское зеркало. Угол падения равен  $30^\circ$ . Чему равен угол между падающим и отражённым лучами?

Ответ: \_\_\_\_\_ градусов.

2 Луч света падает на плоское зеркало. Угол падения равен  $30^\circ$ . Чему равен угол между отражённым лучом и плоскостью зеркала?

Ответ: \_\_\_\_\_ градусов.

3 Луч света падает на плоское зеркало. Угол отражения равен  $20^\circ$ . Чему равен угол между отражённым лучом и плоскостью зеркала?

Ответ: \_\_\_\_\_ градусов.

4 Точечный источник света находится на расстоянии 1,6 м от плоского зеркала. На сколько увеличится расстояние между источником и его изображением, если, не поворачивая зеркала, отодвинуть его от источника на 0,2 м?

Ответ: на \_\_\_\_\_ м.

5 Предмет находится на расстоянии 60 см от плоского зеркала. Чему будет равно расстояние между ним и его изображением, если предмет приблизить к зеркалу на 25 см?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

6 Луч света лазерной указки падает из воздуха на поверхность стекла и распространяется в стекле со скоростью 200 000 км/с. Чему равен показатель преломления стекла?

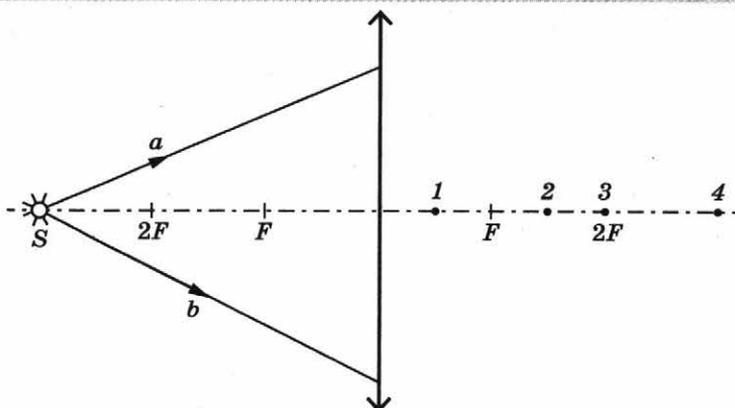
Ответ: \_\_\_\_\_ .

7 Длина волны света лазерной указки равна 600 нм в воздухе и 400 нм в стекле. Чему равен показатель преломления стекла?

Ответ: \_\_\_\_\_ .

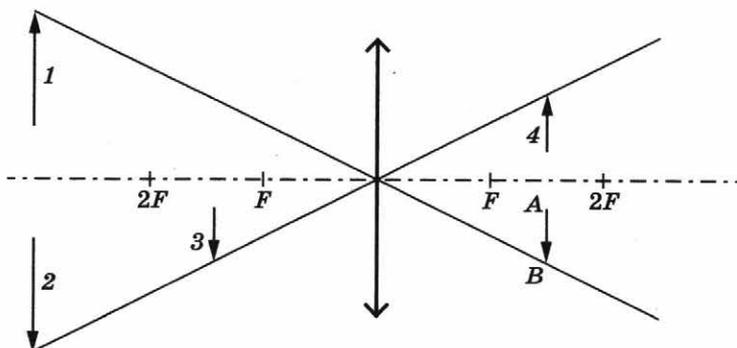
8 От точечного источника света  $S$ , находящегося на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  на расстоянии  $3F$  от неё, распространяются два луча:  $a$  и  $b$ , как показано на рисунке.

В какой точке: 1, 2, 3 или 4 — пересекутся эти лучи после преломления линзой?



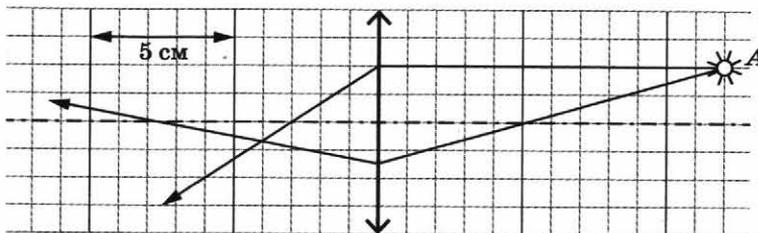
Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 9 Какому из предметов 1—4 соответствует изображение  $AB$  в тонкой линзе с фокусным расстоянием  $F$  (см. рисунок)?



Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 10 На рисунке показан ход двух лучей от точечного источника света  $A$  через тонкую линзу.



Чему равно фокусное расстояние этой линзы?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 11 Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы равно 30 см. Предмет малых размеров расположен на её главной оптической оси на расстоянии 75 см от неё. На каком расстоянии от линзы находится изображение предмета?

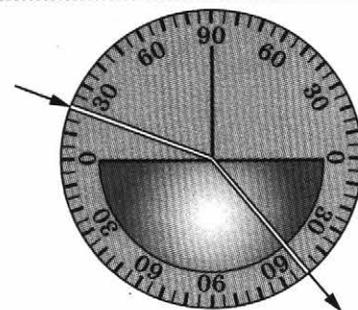
Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 12 Фокусное расстояние тонкой собирающей линзы равно 20 см. Предмет малых размеров расположен на её главной оптической оси, при этом изображение предмета находится на расстоянии 60 см от линзы. На каком расстоянии от линзы расположен предмет?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

## ЗАДАНИЕ 16 ЧАСТИ 1

- 1 Школьник, изучая законы геометрической оптики, провёл опыт по преломлению света (см. рисунок). Для этого он направил узкий пучок света на стеклянную пластину. Пользуясь таблицей, выберите из приведённого ниже списка **два** правильных утверждения и укажите их номера.



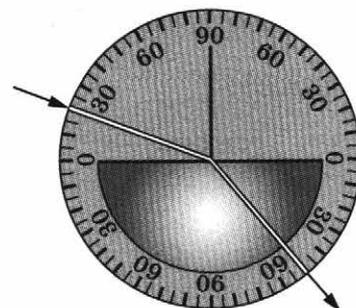
Угол $\alpha$	$20^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$70^\circ$
$\sin \alpha$	0,34	0,64	0,78	0,94

- 1) угол падения равен  $20^\circ$
- 2) показатель преломления стекла примерно равен 1,22
- 3) угол преломления равен  $40^\circ$
- 4) в воздухе скорость светового луча больше, чем в стекле
- 5) угол отражения равен  $60^\circ$

Ответ:

- 2 Школьник, изучая законы геометрической оптики, провёл опыт по преломлению света (см. рисунок). Для этого он направил узкий пучок света на стеклянную пластину. Пользуясь таблицей, выберите из приведённого ниже списка **два** правильных утверждения и укажите их номера.



Угол $\alpha$	$20^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$70^\circ$
$\sin \alpha$	0,34	0,64	0,78	0,94

- 1) угол падения равен  $20^\circ$
- 2) показатель преломления стекла примерно равен 1,47
- 3) угол преломления равен  $40^\circ$
- 4) в воздухе скорость светового луча меньше, чем в стекле
- 5) угол отражения равен  $20^\circ$

Ответ:

- 3 Точечный источник света находится в сосуде с жидкостью и опускается вертикально вниз от поверхности жидкости. При этом на поверхности жидкости возникает пятно, образованное лучами света, выходящими из жидкости в воздух. Глубина погружения источника (расстояние от

поверхности жидкости до источника света), измеренная через равные промежутки времени, а также соответствующий радиус светлого пятна представлены в таблице. Погрешность измерения глубины погружения и радиуса пятна составила 1 см. Выберите **два** верных утверждения на основании данных, приведённых в таблице.

Глубина погружения, см	10	20	30	40	50	60	70
Радиус пятна, см	12	24	36	48	60	72	84

- 1) показатель преломления жидкости меньше 1,5
- 2) образование пятна на поверхности обусловлено дисперсией света в жидкости
- 3) конечные размеры пятна на поверхности обусловлены явлением полного внутреннего отражения
- 4) граница пятна движется с ускорением
- 5) предельный угол полного внутреннего отражения меньше  $45^\circ$

Ответ:

- 4 Стекланную линзу (показатель преломления стекла  $n_{\text{стекла}} = 1,54$ ), показанную на рисунке, перенесли из воздуха ( $n_{\text{воздуха}} = 1$ ) в воду ( $n_{\text{воды}} = 1,33$ ). Выберите **два** верных утверждения о характере изменений, произошедших с линзой.

- 1) линза из рассеивающей превратилась в собирающую
- 2) фокусное расстояние уменьшилось, оптическая сила увеличилась
- 3) линза из собирающей превратилась в рассеивающую
- 4) фокусное расстояние увеличилось, оптическая сила уменьшилась
- 5) линза осталась собирающей

Ответ:

- 5 Стекланную линзу (показатель преломления стекла  $n_{\text{стекла}} = 1,54$ ), показанную на рисунке, перенесли из воды ( $n_{\text{воды}} = 1,33$ ) в воздух ( $n_{\text{воздуха}} = 1$ ). Выберите **два** верных утверждения о характере изменений, произошедших с линзой.

- 1) линза осталась собирающей
- 2) линза из рассеивающей превратилась в собирающую
- 3) линза из собирающей превратилась в рассеивающую
- 4) фокусное расстояние уменьшилось, оптическая сила увеличилась
- 5) фокусное расстояние увеличилось, оптическая сила уменьшилась

Ответ:

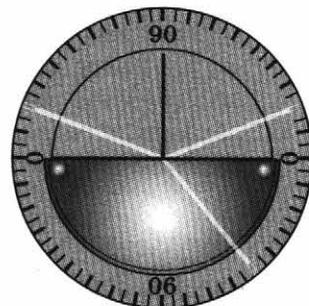
## ЗАДАНИЕ 17 ЧАСТИ 1

1 Ученик провёл опыт по преломлению света, представленный на рисунке.

Как изменятся при увеличении угла падения угол преломления света, распространяющегося в стекле, и показатель преломления стекла?

- 1) увеличатся
- 2) уменьшатся
- 3) не изменятся

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.



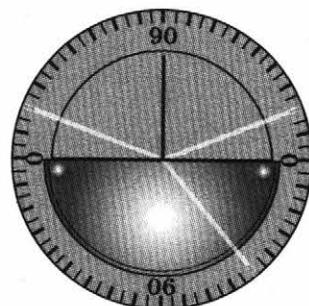
Угол преломления	Показатель преломления стекла

2 Ученик провёл опыт по преломлению света, представленный на рисунке.

Как изменятся при уменьшении угла падения угол преломления света, распространяющегося в стекле, и показатель преломления стекла?

- 1) увеличатся
- 2) уменьшатся
- 3) не изменятся

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.



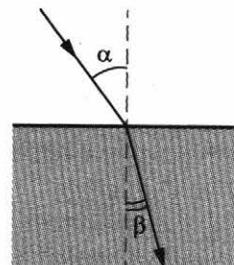
Угол преломления	Показатель преломления стекла

3 Световой пучок входит из воздуха в воду (см. рисунок). Что происходит при переходе света из воздуха в воду с частотой электромагнитных колебаний в световой волне и скоростью их распространения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

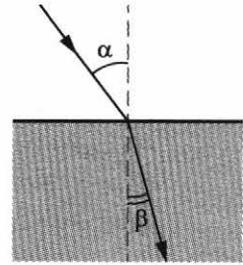
- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.



Частота	Скорость

4 Световой пучок входит из воздуха в воду (см. рисунок). Что происходит при переходе света из воздуха в воду с частотой и длиной волны электромагнитных колебаний в световой волне?



Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота	Длина волны

5 Небольшой предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на тройном фокусном расстоянии от неё. Его начинают приближать к фокусу линзы. Как меняются при этом расстояние от линзы до изображения и оптическая сила линзы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения	Оптическая сила линзы

6 Небольшой предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на двойном фокусном расстоянии от неё. Его начинают отодвигать от линзы. Как меняются при этом расстояние от линзы до изображения и оптическая сила линзы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения	Оптическая сила линзы

- 7 В прозрачном сосуде, заполненном водой, находится дифракционная решётка. Решётка освещается лучом света лазерной указки, падающим перпендикулярно её поверхности через боковую стенку сосуда. Как изменятся частота световой волны, падающей на решётку, и угол между падающим лучом и направлением на первый дифракционный максимум при удалении воды из сосуда?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота волны света, достигающего решётки	Угол между нормалью к решётке и направлением на первый дифракционный максимум

- 8 В прозрачном сосуде, заполненном водой, находится дифракционная решётка. Решётка освещается параллельным пучком монохроматического света, падающим перпендикулярно её поверхности через боковую стенку сосуда. Как изменятся длина световой волны, падающей на решётку, и угол между падающим лучом и направлением на первый дифракционный максимум при замене воды в сосуде прозрачной жидкостью с большим показателем преломления?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

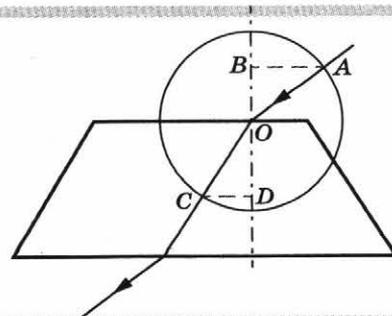
Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Длина волны света, достигающего решётки	Угол между нормалью к решётке и направлением на первый дифракционный максимум

### ЗАДАНИЕ 18 ЧАСТИ 1

- 1 На рисунке показан ход луча света через плоскопараллельную стеклянную пластинку, находящуюся в воздухе. Точка  $O$  — центр окружности.

Установите соответствие между формулами и физическими величинами, которые их выражают в рассматриваемой задаче.



К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры.

ФОРМУЛЫ

А)  $\frac{AB}{CD}$

Б)  $\frac{AB}{OA}$

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

1) синус угла падения в точке  $O$

2) синус угла преломления в точке  $O$

3) показатель преломления воздуха

4) показатель преломления стекла

Ответ:

А	Б

2 Пучок монохроматического света переходит из воды в воздух. Частота световой волны —  $\nu$ , длина световой волны в воде —  $\lambda$ , показатель преломления воды относительно воздуха —  $n$ .

Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) скорость света в воздухе

Б) длина световой волны в воздухе

ФОРМУЛЫ

1)  $\lambda \cdot \nu$

2)  $\lambda \cdot n$

3)  $\lambda \cdot \nu \cdot n$

4)  $\frac{\lambda}{\nu} \cdot n$

Ответ:

А	Б

3 Пучок света переходит из воздуха в воду. Скорость света в воздухе —  $c$ , длина световой волны в воздухе —  $\lambda$ , показатель преломления воды относительно воздуха —  $n$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

А) длина световой волны в воде

Б) частота световой волны в воде

ФОРМУЛЫ

1)  $\lambda \cdot c$

2)  $\frac{c}{\lambda}$

3)  $\lambda \cdot c \cdot n$

4)  $\frac{\lambda}{n}$

Ответ:

А	Б

- 4 В опыте нить накала лампочки расположена вблизи главной оптической оси тонкой линзы с фокусным расстоянием, модуль которого равен  $F$ , перпендикулярно этой оси. Расстояние  $a$  от линзы до нити равно  $2F$ . Сначала в опыте использовали рассеивающую линзу, а затем — собирающую. Установите соответствие между видом линзы, использовавшейся в опыте, и свойствами изображения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ВИД ЛИНЗЫ

СВОЙСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

А) линза рассеивающая

1) действительное, перевёрнутое, равное по размерам

Б) линза собирающая

2) мнимое, прямое, уменьшенное

3) действительное, увеличенное, перевёрнутое

4) мнимое, увеличенное, перевёрнутое

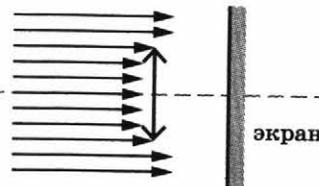
Ответ:

А	Б

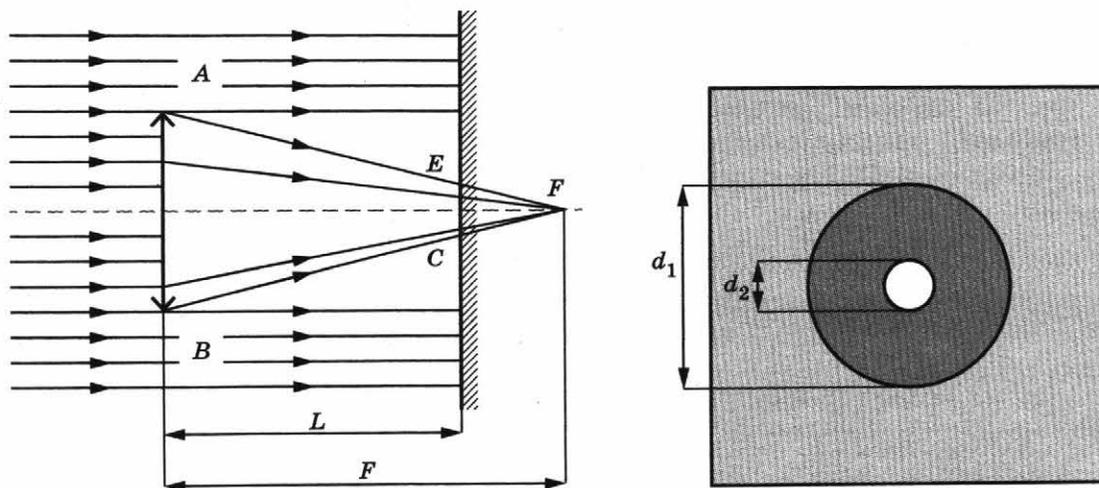
## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

Пучок параллельных световых лучей падает вдоль главной оптической оси на тонкую собирающую линзу диаметром 10 см с оптической силой 2,5 дптр (см. рисунок). Экран расположен за линзой на расстоянии 30 см от неё. Чему равен диаметр светлого пятна, созданного линзой на экране?



Дано:	Решение:
$d_1 = 10$ см $D = 2,5$ дптр $L = 30$ см	<p>Фокусное расстояние линзы связано с её оптической силой соотношением <math>D = \frac{1}{F}</math>. Таким образом, <math>F = \frac{1}{D} = \frac{1}{2,5} = 0,4</math> м = 40 см, а значит, <math>L &lt; F</math>, экран расположен между линзой и её фокусом. Параллельный пучок лучей, падающий на линзу, преломляясь, будет собираться в фокусе линзы (см. рисунок). При этом в центре экрана появится яркое светлое пятно. Лучи, не попавшие на линзу, продолжат своё прямолинейное распространение и создадут на экране равномерную засветку. Таким образом, на равномерно освещённом экране в центре будет наблюдаться яркое светлое пятно, вокруг которого сформируется тень.</p>



Из подобия треугольников  $ABF$  и  $ECF$  имеем

$$\frac{AB}{F} = \frac{EC}{F-L} = \frac{d_1}{F} = \frac{d_2}{F-L}.$$

$$\text{В итоге } d_2 = \frac{d_1 \cdot (F-L)}{F} = \frac{10 \cdot (40-30)}{40} = 2,5 \text{ см.}$$

$d_2$  — ?

Ответ: 2,5 см.

### Задачи для самостоятельного решения

- 1 Тень на экране от предмета, освещённого точечным источником света, имеет размеры, в 4 раза больше, чем сам предмет. Расстояние от источника света до предмета равно 60 см. Определите расстояние от предмета до экрана.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

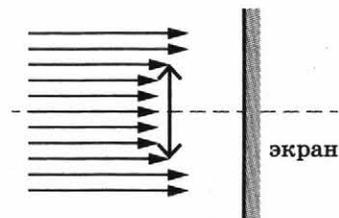
- 2 На потолке комнаты высотой 4 м закреплена небольшая светящаяся лампочка. На высоте 2 м от пола параллельно полу расположен непрозрачный квадрат со стороной 1 м. Определите площадь тени на полу.

Ответ: \_\_\_\_\_ м<sup>2</sup>.

- 3 К потолку комнаты высотой 3 м прикреплена люминесцентная лампа длиной 0,5 м. На высоте 2 м от пола параллельно ему расположен круглый непрозрачный диск диаметром 1 м. Центр лампы и центр диска лежат на одной вертикали. Определите минимальный линейный размер тени от диска на полу.

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 4 Пучок параллельных световых лучей падает вдоль главной оптической оси на тонкую собирающую линзу оптической силой 5 дптр. Диаметр линзы 10 см (см. рисунок). Чему равен внешний диаметр светлого кольца на экране, стоящем на расстоянии 50 см от линзы?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

### Пример решения задачи

Предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы оптической силой  $D = 5$  дптр. На экране получено действительное уменьшенное в 2 раза изображение предмета. Найдите расстояние от изображения предмета до линзы.

Дано:	Решение:
$D = 5$ дптр $\Gamma = \frac{H}{h} = 0,5$	<p>Для построения изображения предмета, даваемого собирающей линзой, используем два луча: 1 — проходящий через оптический центр линзы; 2 — параллельный главной оптической оси линзы (см. рисунок). Луч 1 проходит линзу, не преломляясь, а луч 2 преломляется и проходит через фокус линзы. Пересечение этих лучей даёт точку изображения предмета.</p> <p>Расстояния от предмета и его изображения до линзы связаны между собой формулой тонкой линзы: <math>D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}</math>. Подобие треугольников, образованных главной оптической осью, лучом 1, предметом и его изображением, даёт формулу увеличения линзы: <math>\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}</math>, т. е. <math>d = \frac{f}{\Gamma} = 2f</math>. Таким образом, <math>f = \frac{3}{2D} = \frac{3}{2 \cdot 5} = 0,3 \text{ м} = 30 \text{ см}</math>.</p>
$f - ?$	Ответ: _____ 30 _____ см.

### Задачи для самостоятельного решения

- 5 Фокусное расстояние тонкой линзы—объектива проекционного аппарата равно 18 см. Диапозитив находится на расстоянии 20 см от объектива. На каком расстоянии от объектива получится чёткое изображение диапозитива?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 6 Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси тонкой собирающей линзы с оптической силой 20 дптр. Расстояние от предмета до линзы равно 7,5 см. Во сколько раз размер изображения предмета превышает размеры самого предмета?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 7 Предмет высотой 3 см расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 10 см от её оптического центра. Высота изображения предмета 12 см. Найдите оптическую силу линзы.

Ответ: \_\_\_\_\_ дптр.

### Пример решения задачи

Предельный угол полного внутреннего отражения на границе стекло — воздух равен  $30^\circ$ . Определите скорость света в этом сорте стекла.

Дано:	Решение:
$\alpha_{\text{пр}} = 30^\circ$ $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$	<p>Синус предельного угла полного внутреннего отражения определяется по закону преломления <math>\sin \alpha_{\text{пр}} = \frac{1}{n}</math>, где <math>n</math> — показатель преломления стекла.</p> <p>В свою очередь, скорость света в среде равна <math>v = \frac{c}{n}</math>. Показатель преломления воздуха равен 1, значит, в воздухе свет распространяется с такой же скоростью, как и в вакууме.</p> <p>В итоге</p> $v = \frac{c}{n} = c \cdot \sin \alpha_{\text{пр}} = 3 \cdot 10^8 \cdot \sin 30^\circ = 1,5 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 150\,000 \text{ км/с.}$
$v = ?$	<p>Ответ: _____ 150 000 _____ км/с.</p>

### Задачи для самостоятельного решения

- 8 Электромагнитная волна с периодом колебаний 32,6 нс переходит из воздуха в сероуглерод. Показатель преломления сероуглерода 1,63. Чему равна длина волны в сероуглероде?

Ответ: \_\_\_\_\_ м.

- 9 Источник с частотой колебаний 2 ГГц возбуждает в среде электромагнитные волны, длина волны которых равна 60 мм. Определите абсолютный показатель преломления среды.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

- 10 Предельный угол полного внутреннего отражения при переходе света из стекла в воду равен  $45^\circ$ . Определите абсолютный показатель преломления этого сорта стекла, если абсолютный показатель преломления воды равен 1,33. Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ .

## Пример решения задачи

Два полупрозрачных зеркала расположены параллельно друг другу. На них перпендикулярно плоскости зеркал падает свет, длина волны которого равна 0,52 мкм. Чему должно быть равно минимальное расстояние между зеркалами, чтобы наблюдался первый минимум при интерференции отражённых световых волн?

Дано:	Решение:
$\lambda = 0,52 \text{ мкм} =$ $= 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $k_{\min} = 1$	Падающая световая волна отражается от каждого зеркала, в результате чего формируются две отражённые волны, у которых оптическая разность хода равна $\Delta d = 2L$ . По условию интерференционного минимума $\Delta d = \frac{\lambda}{2}(2k - 1).$ Таким образом, $L = \frac{\lambda}{4}(2k - 1) = \frac{0,52 \cdot 10^{-6}}{4} = 0,13 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 0,13 \text{ мкм}.$
$L - ?$	Ответ: <u>0,13</u> мкм.

## Задачи для самостоятельного решения

- 11 Два полупрозрачных зеркала расположены параллельно друг другу. На них перпендикулярно плоскости зеркал падает свет, длина волны которого равна 660 нм. Каким должно быть минимальное расстояние между зеркалами, чтобы наблюдался первый минимум интерференции отражённых световых волн?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

- 12 На поверхность стекла с показателем преломления 1,70 нанесена плёнка толщиной 250 нм с показателем преломления 1,25. Для какой длины волны видимого света коэффициент отражения будет максимальным?

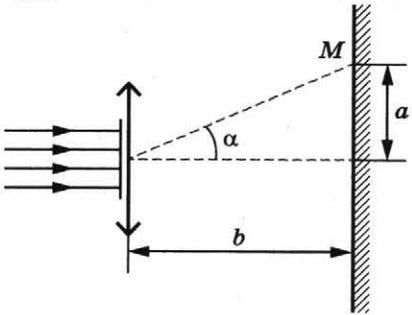
Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

- 13 На поверхность стекла с показателем преломления 1,80 нанесена плёнка толщиной 150 нм с показателем преломления 1,2. Для какой длины волны видимого света плёнка будет «просветляющей» (т. е. отражённые лучи практически полностью гасятся)? Ответ выразите в нанометрах (нм).

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

## Пример решения задачи

Дифракционная решётка с периодом 20 мкм расположена параллельно экрану на расстоянии 0,5 м от него. Между решёткой и экраном вплотную к решётке расположена линза, которая фокусирует свет, проходящий через решётку, на экране. Какого порядка максимум в спектре будет наблюдаться на экране на расстоянии 7,5 см от центра дифракционной картины при освещении решётки нормально падающим пучком света длиной волны 750 нм? Угол отклонения лучей решёткой  $\alpha$  считать малым, так что  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ .

Дано:	Решение:
<p> <math>d = 20 \text{ мкм} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}</math>  <math>\lambda = 750 \text{ нм} = 750 \cdot 10^{-9} \text{ м}</math>  <math>a = 7,5 \text{ см} = 0,075 \text{ м}</math>  <math>b = 0,5 \text{ м}</math> </p>	<p>После прохождения светом дифракционной решётки и линзы на экране будет формироваться дифракционный спектр, представляющий собой симметричные относительно центра повторяющиеся светлые полосы. В точке <math>M</math> (см. рисунок) под углом <math>\alpha</math> к нормали будет наблюдаться <math>k</math>-й максимум <math>d \sin \alpha = k \lambda</math>.</p>  <p>Так как угол <math>\alpha</math> по условию можно считать малым, то <math>\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{a}{b}</math>. Таким образом, <math>k = \frac{d \cdot a}{\lambda \cdot b} = \frac{2 \cdot 10^{-5} \cdot 0,075}{750 \cdot 10^{-9} \cdot 0,5} = 4</math>.</p>
$k$ — ?	Ответ: <u>4</u> .

### Задачи для самостоятельного решения

- 14 На дифракционную решётку с периодом 0,006 мм падает по нормали плоская монохроматическая волна. Число дифракционных максимумов, наблюдаемых с помощью этой решётки, равно 17. Чему равна максимальная длина волны падающего света?

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

- 15 На дифракционную решётку, имеющую 500 штрихов на 1 мм, перпендикулярно ей падает плоская монохроматическая волна длиной волны 500 нм. Чему равен порядок максимума, наблюдаемого в направлении, перпендикулярном падающей волне?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 16 Дифракционная решётка с периодом 30 мкм расположена параллельно экрану на расстоянии 2 м от него. Чему равен порядок максимума в спектре, наблюдаемого на экране на расстоянии 10 см от центра дифракционной картины при освещении решётки нормально падающим пучком света длиной волны 500 нм? Угол отклонения лучей решёткой  $\alpha$  считать малым, так что  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 17 На дифракционную решётку, имеющую 50 штрихов на 1 мм, падает нормально параллельный пучок белого света. Спектр наблюдается на экра-

не на расстоянии 1 м от решётки. Чему равно расстояние между красным и фиолетовым участками спектра первого порядка (первой цветной полосы на экране), если длина волны красного и фиолетового света соответственно равна 0,8 мкм и 0,4 мкм? Угол отклонения лучей решёткой  $\alpha$  считать малым, так что  $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha \approx \alpha$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

### ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО ТЕМЕ «ОПТИКА»

- 1 Луч света падает на плоское зеркало. Угол отражения равен  $40^\circ$ . Чему равен угол между отражённым лучом и плоскостью зеркала?

Ответ: \_\_\_\_\_ градусов.

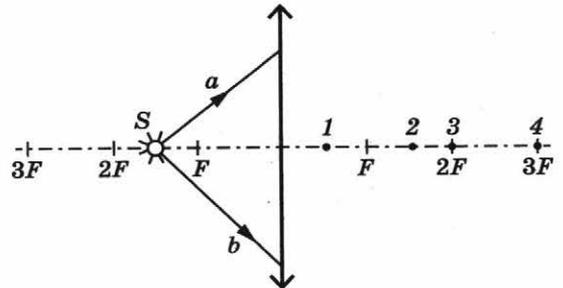
- 2 Точечный источник света находится на расстоянии 1,2 м от плоского зеркала. На сколько уменьшится расстояние между источником и его изображением, если, не поворачивая зеркала, пододвинуть его ближе к источнику на 0,3 м?

Ответ: на \_\_\_\_\_ м.

- 3 Луч света лазерной указки падает из воздуха на поверхность стекла с показателем преломления 1,5. Чему равна скорость света лазерной указки в стекле?

Ответ: \_\_\_\_\_ км/с.

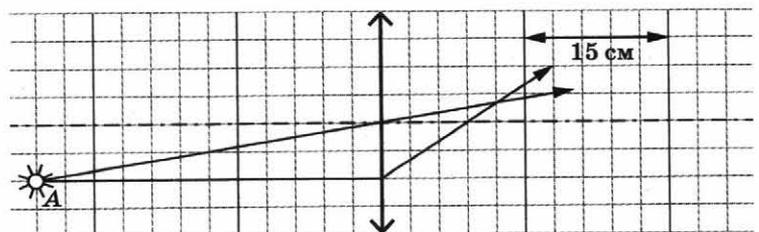
- 4 От точечного источника света  $S$ , находящегося на главной оптической оси тонкой собирающей линзы с фокусным расстоянием  $F$  на расстоянии  $1,5F$  от неё, распространяются два луча:  $a$  и  $b$ , как показано на рисунке. В какой точке: 1, 2, 3 или 4 — пересекутся эти лучи после преломления линзой?



Ответ: \_\_\_\_\_.

- 5 На рисунке показан ход лучей от точечного источника света  $A$  через тонкую линзу. Чему равно фокусное расстояние этой линзы?

Ответ: \_\_\_\_\_ см.



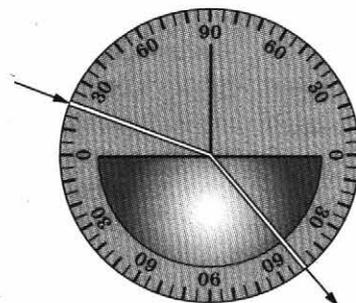
- 6 Предмет малых размеров расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на расстоянии 60 см от линзы. При этом изображение предмета находится на расстоянии 30 см от линзы. Определите фокусное расстояние этой линзы.

Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 7 Школьник, изучая законы геометрической оптики, провёл опыт по преломлению света (см. рисунок). Для этого он направил узкий пучок света на стеклянную пластину. Пользуясь таблицей, выберите из приведённого ниже списка **два** правильных утверждения и укажите их номера.

Угол $\alpha$	$20^\circ$	$40^\circ$	$50^\circ$	$70^\circ$
$\sin \alpha$	0,34	0,64	0,78	0,94

- 1) угол падения равен  $70^\circ$
- 2) показатель преломления стекла примерно равен 1,47
- 3) угол преломления равен  $50^\circ$
- 4) в стекле скорость светового луча больше, чем в воздухе
- 5) угол отражения равен  $20^\circ$



Ответ:

--	--

- 8 Точечный источник света находится в сосуде с жидкостью и опускается вертикально вниз от поверхности жидкости. При этом на поверхности жидкости возникает пятно, образованное лучами света, выходящими из жидкости в воздух. Глубина погружения источника (расстояние от поверхности жидкости до источника света), измеренная через равные промежутки времени, а также соответствующий радиус светлого пятна представлены в таблице. Погрешность измерения глубины погружения и радиуса пятна составила 1 см. Выберите **два** верных утверждения на основании данных, приведённых в таблице.

Глубина погружения, см	10	20	30	40	50	60	70
Радиус пятна, см	10	20	30	40	50	60	70

- 1) показатель преломления жидкости больше 1,5
- 2) образование пятна на поверхности обусловлено интерференцией света в жидкости
- 3) угол полного внутреннего отражения равен  $45^\circ$
- 4) граница пятна движется с ускорением
- 5) конечные размеры пятна на поверхности обусловлены явлением полного внутреннего отражения

Ответ:

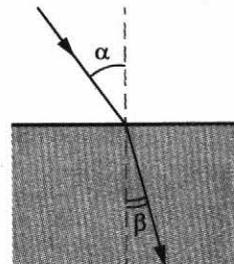
--	--

9

Световой пучок входит из воздуха в стекло (см. рисунок). Что происходит при переходе света из воздуха в стекло с частотой электромагнитных колебаний в световой волне и скоростью их распространения?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется



Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота	Скорость

10

Небольшой предмет расположен на главной оптической оси тонкой собирающей линзы на двойном фокусном расстоянии от неё. Его начинают приближать к фокусу линзы. Как меняются при этом расстояние от линзы до изображения и оптическая сила линзы?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Расстояние от линзы до изображения	Оптическая сила линзы

11

В прозрачном сосуде находится дифракционная решётка. Решётка освещается параллельным пучком монохроматического света, падающим перпендикулярно её поверхности через боковую стенку сосуда. Как изменятся частота световой волны, падающей на решётку, и угол между падающим лучом и направлением на первый дифракционный максимум, если в сосуд налить воду?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота света, достигающего решётки	Угол между нормалью к решётке и направлением на первый дифракционный максимум

- 12 В опыте нить накала лампочки расположена вблизи главной оптической оси тонкой линзы с фокусным расстоянием, модуль которого равен  $F$ , перпендикулярно этой оси. Расстояние  $a$  от линзы до нити равно  $1,5F$ . Сначала в опыте использовали рассеивающую линзу, а затем — собирающую. Установите соответствие между видом линзы, использовавшейся в опыте, и свойствами изображения. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ВИД ЛИНЗЫ

- А) линза рассеивающая  
Б) линза собирающая

## СВОЙСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

- 1) действительное, увеличенное, перевёрнутое  
2) мнимое, прямое, уменьшенное  
3) действительное, уменьшенное, перевёрнутое  
4) мнимое, увеличенное, перевёрнутое

Ответ:

А	Б

- 13 Пучок света переходит из воды в воздух. Частота световой волны —  $\nu$ , скорость света в воде —  $v$ , показатель преломления воды относительно воздуха —  $n$ . Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) длина волны света в воздухе  
Б) длина волны света в воде

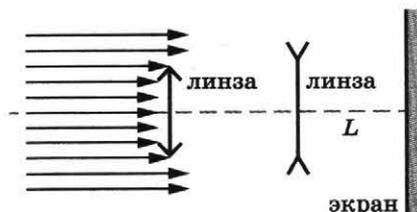
## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{v}{n \cdot \nu}$   
2)  $\frac{n \cdot v}{\nu}$   
3)  $\frac{n \cdot \nu}{v}$   
4)  $\frac{v}{\nu}$

Ответ:

А	Б

- 14 Параллельный световой пучок падает перпендикулярно на тонкую собирающую линзу. На расстоянии 20 см от неё расположена рассеивающая линза (см. рисунок). Оптическая сила собирающей линзы равна 5 дптр, фокусное расстояние рассеивающей линзы равно  $-15$  см. Диаметры линз равны 8 см. На каком расстоянии от собирающей линзы необходимо расположить экран, чтобы он был освещён равномерно?



Ответ: \_\_\_\_\_ см.

- 15 На поверхность стекла нанесена плёнка толщиной 120 нм с показателем, меньшим показателя преломления стекла. На плёнку по нормали к ней падает свет с длиной волны 600 нм. При каком минимальном значении показателя преломления  $n_{пл}$  плёнка будет «просветляющей» (т. е. отражённые лучи практически полностью гасятся)?

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 16 Плоская монохроматическая световая волна падает по нормали на дифракционную решётку с периодом 5 мкм. Параллельно решётке позади неё размещена собирающая линза с фокусным расстоянием 25 см. Дифракционная картина наблюдается на экране в задней фокальной плоскости линзы. Расстояние между её главными максимумами 1-го и 2-го порядков равно 30 мм. Найдите длину волны падающего света. Считать для малых углов  $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha \approx \alpha$ .

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

## Уроки 61—66. Квантовая физика

### СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

#### 5.1. КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

5.1.1. **Гипотеза М. Планка о квантах:** в теории равновесного теплового излучения Планк выдвинул гипотезу об излучении энергии конечными порциями — квантами. Эта энергия, по Планку, пропорциональна частоте излучения:  $E = h\nu$  (**формула Планка**).

5.1.2. **Фотоны** — кванты электромагнитного излучения любых длин волн и любого происхождения. Масса фотона равна нулю, модуль скорости фотона равен  $c$ . **Энергия фотона**

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = pc,$$

где  $\nu$  — частота фотона,  $\lambda$  — длина волны фотона,  $p$  — импульс фотона,  $c$  — модуль скорости света в вакууме. **Импульс фотона:**

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

5.1.3. **Фотоэффект** — испускание электронов веществом под действием света. **Опыты А. Г. Столетова** позволили установить **законы фотоэффекта**.

1) Сила фототока насыщения прямо пропорциональна освещённости фотокатода.

2) Энергия вылетающих фотоэлектронов зависит от длины волны света и от материала фотокатода, но не зависит от освещённости фотокатода.

3) Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта — наименьшая частота (или наибольшая длина волны) падающего света, при которой фотоэффект ещё возможен.

5.1.4. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $E_{\text{фотона}} = A_{\text{выхода}} + E_{\text{кин макс}}$ ,

где  $E_{\text{фотона}} = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$ ,  $A_{\text{выхода}} = h\nu_{\text{кр}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}$ ,  $E_{\text{кин макс}} = \frac{mv_{\text{макс}}^2}{2} = eU_{\text{зап}}$ .

5.1.5. Гипотеза де Бройля: если электромагнитные волны проявляют корпускулярные свойства, то можно ожидать, что массивные объекты (в частности, элементарные частицы) проявляют **волновые свойства**, причём количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами частиц те же, что и для фотонов.

**Волны де Бройля** — волны вероятности, основной объект в одной из формулировок квантовой механики. Длина волны де Бройля одного порядка с размерами области локализации частицы в квантовой механике. **Длина волны де Бройля движущейся частицы:**  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$ .

**Корпускулярно-волновой дуализм:** любой объект, прежде всего объект микромира, в зависимости от внешних условий может проявить себя либо как волна, либо как частица, либо промежуточным образом. Подтверждением этого служат, в частности, результаты **дифракции электронов на кристаллах**.

5.1.6. **Давление света:** свет как поток фотонов, падая на поверхность предмета и поглощаясь либо отражаясь ею, передаёт этому предмету некоторый импульс, действуя на него соответствующей силой, и, следовательно, создаёт давление на эту поверхность.

**Давление света в вакууме на полностью отражающую поверхность** при падении света по нормали:  $p = \frac{2P}{Sc}$ ,

где  $P$  — мощность света,  $S$  — площадь освещаемой площадки,  $c$  — модуль скорости света в вакууме.

**Давление света в вакууме на полностью поглощающую поверхность** при падении света по нормали:  $p = \frac{P}{Sc}$ .

## 5.2. ФИЗИКА АТОМА

5.2.1. **Планетарная модель атома:** в центре атома находится положительно заряженное ядро, имеющее линейные размеры, примерно на 5 порядков меньшие, чем линейные размеры самого атома. Практически вся масса атома сосредоточена в ядре. Ядро окружено облаком движущихся вокруг него электронов. Размеры электронного облака и являются размерами атома.

5.2.2. **Постулаты Бора.** Излучение и поглощение фотонов при переходе атома с одного уровня энергии на другой.

1) Атом имеет дискретные стационарные состояния с соответствующей энергией  $E_n$ . Движение электронов атома, находящегося в стационарном состоянии, не сопровождается излучением электромагнитных волн.

2) При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией  $E_n$  в другое стационарное состояние с энергией  $E_m$  атом испускает или поглощает один фотон с энергией  $h\nu_{mn} = \frac{hc}{\lambda_{mn}} = |E_n - E_m|$ .

5.2.3. **Линейчатые спектры** — спектры поглощения и излучения разреженных атомарных паров (газов), т. е. спектры энергии фотонов, излучаемых или погло-

щаемых этими парами (газами). Набор значений энергии фотонов в спектрах поглощения и излучения атомов данного химического элемента один и тот же, у разных элементов спектры разные.

**Спектр уровней энергии атома водорода:**  $E_n = \frac{-13,6 \text{ эВ}}{n^2}$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$

5.2.4. **Лазер** — источник вынужденного (индуцированного) электромагнитного излучения. Излучение лазера когерентно, монохроматично, поляризовано и узконаправлено.

### 5.3. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

5.3.1. **Нуклонная модель ядра Гейзенберга–Иваненко:** ядро любого атома состоит из нуклонов — положительно заряженных протонов и электронейтральных нейтронов.

**Заряд ядра** равен произведению элементарного электрического заряда на число протонов в ядре. **Заряд ядра** в единицах элементарного электрического заряда (**зарядовое число** ядра) равняется числу протонов в ядре. Зарядовое число ядра равно порядковому номеру элемента в Периодической системе Д. И. Менделеева.

**Массовое число ядра** равно общему числу нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре.

**Изотопы** — ядра одного и того же элемента с разным массовым числом. Изотопы одного и того же элемента содержат одинаковое число протонов, но разное число нейтронов.

5.3.2. Нуклоны в ядре (как протоны, так и нейтроны) притягиваются друг к другу **ядерными силами**, которые во много раз превышают силы кулоновского отталкивания между протонами. Ядерные силы относятся к сильному взаимодействию — одному из четырёх фундаментальных взаимодействий в природе. Для того чтобы разделить ядро на свободные протоны и нейтроны, требуется совершить работу, равную **энергии связи** ядра. Если поделить эту величину на число нуклонов в ядре, получим **удельную энергию связи**, которая для большинства ядер составляет несколько мегаэлектронвольт (МэВ). Это примерно в миллион раз больше, чем энергия связи одного электрона в электронной оболочке атома.

5.3.3. Пользуясь выражением из СТО для энергии покоя частицы, получим, что энергия связи ядра эквивалентна **дефекту массы ядра**  $\Delta m$ :  $E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2$ . Дефект массы ядра  ${}^A_Z\text{X}$ :  $\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{ядра}}$ , где  $Z$  — зарядовое число ядра  ${}^A_Z\text{X}$ ,  $A$  — его массовое число,  $m_p$  — масса свободного протона,  $m_n$  — масса свободного нейтрона.

5.3.4. **Радиоактивность** — самопроизвольное изменение состава или внутреннего строения нестабильных атомных ядер с испусканием частиц.

Альфа-распад:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + {}^4_2\text{He}$ .

Бета-распад. Электронный  $\beta$ -распад:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z+1}\text{Y} + {}^0_{-1}e + \bar{\nu}_e$ .

Позитронный  $\beta$ -распад:  ${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^A_{Z-1}\text{Y} + {}^0_{+1}\tilde{e} + \nu_e$ .

Гамма-излучение происходит при переходе ядра из возбуждённого состояния в состояние с меньшей энергией.

5.3.5. **Закон радиоактивного распада:**  $N(t) = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ , где  $T$  — период полураспада. Распады носят вероятностный характер, поэтому данный закон хорошо согласуется с опытными данными только при больших значениях  $N$ .

5.3.6. **Ядерные реакции** — процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождаемый превращением ядер. В ядерных реакциях всегда сохраняется электрический заряд и число нуклонов.

Пример реакции деления:  ${}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_{82}^{215}\text{Pb} + {}_{10}^{20}\text{Ne}$ .

Пример цепной реакции деления:  ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1n \rightarrow {}_{56}^{139}\text{Ba} + {}_{36}^{95}\text{Kr} + 2{}_0^1n$ .

Пример реакции синтеза:  ${}_1^2\text{H} + {}_1^3\text{H} = {}_2^4\text{He} + {}_0^1n$ .

## Задания для самостоятельной работы

### ЗАДАНИЕ 19 ЧАСТИ 1

- 1 Определите число электронов в электронной оболочке нейтрального атома бериллия  ${}_4^7\text{Be}$  и число нейтронов в его ядре.

Ответ:	Число электронов	Число нейтронов

- 2 Определите число электронов в электронной оболочке нейтрального атома кислорода  ${}_8^{21}\text{O}$  и число нейтронов в его ядре.

Ответ:	Число электронов	Число нейтронов

- 3 Укажите число электронов в электронной оболочке нейтрального атома аргона  ${}_{18}^{39}\text{Ar}$  и число протонов в его ядре.

Ответ:	Число электронов	Число протонов

- 4 Укажите число электронов в электронной оболочке нейтрального атома меди  ${}_{29}^{63}\text{Cu}$  и число протонов в его ядре.

Ответ:	Число электронов	Число протонов

- 5 Определите число протонов и число нейтронов в ядре изотопа натрия  ${}_{11}^{24}\text{Na}$ .

Ответ:	Число протонов	Число нейтронов

6 Укажите число протонов и число нейтронов в ядре изотопа кремния  ${}^{30}_{14}\text{Si}$ .

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

7 На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Под названием каждого элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов. При этом нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

2	II	<b>Li</b> 3 ЛИТИЙ ${}^7_{93}{}^6_{7,4}$	<b>Be</b> 4 БЕРИЛЛИЙ ${}^9_{100}$	5 БОР ${}^{11}_{80}{}^{10}_{20}$	<b>B</b>
3	III	<b>Na</b> 11 НАТРИЙ ${}^{23}_{100}$	<b>Mg</b> 12 МАГНИЙ ${}^{24}_{79}{}^{26}_{11}{}^{25}_{10}$	13 АЛЮМИНИЙ ${}^{27}_{100}$	<b>Al</b>
4	IV	<b>K</b> 19 КАЛИЙ ${}^{39}_{93}{}^{41}_{6,7}$	<b>Ca</b> 20 КАЛЬЦИЙ ${}^{40}_{97}{}^{44}_{2,1}$	<b>Sc</b> 21 СКАНДИЙ ${}^{45}_{100}$	<b>21</b>
	V	<b>29 Cu</b> МЕДЬ ${}^{63}_{69}{}^{65}_{31}$	<b>30 Zn</b> ЦИНК ${}^{64}_{49}{}^{66}_{28}{}^{68}_{19}$	<b>31 Ga</b> ГАЛЛИЙ ${}^{69}_{60}{}^{71}_{40}$	<b>31</b>

Определите число протонов и число нейтронов в ядре алюминия.

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

8 На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Под названием каждого элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов. При этом нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

2	II	<b>Li</b> 3 ЛИТИЙ ${}^7_{93}{}^6_{7,4}$	<b>Be</b> 4 БЕРИЛЛИЙ ${}^9_{100}$	5 БОР ${}^{11}_{80}{}^{10}_{20}$	<b>B</b>
3	III	<b>Na</b> 11 НАТРИЙ ${}^{23}_{100}$	<b>Mg</b> 12 МАГНИЙ ${}^{24}_{79}{}^{26}_{11}{}^{25}_{10}$	13 АЛЮМИНИЙ ${}^{27}_{100}$	<b>Al</b>
4	IV	<b>K</b> 19 КАЛИЙ ${}^{39}_{93}{}^{41}_{6,7}$	<b>Ca</b> 20 КАЛЬЦИЙ ${}^{40}_{97}{}^{44}_{2,1}$	<b>Sc</b> 21 СКАНДИЙ ${}^{45}_{100}$	<b>21</b>
	V	<b>29 Cu</b> МЕДЬ ${}^{63}_{69}{}^{65}_{31}$	<b>30 Zn</b> ЦИНК ${}^{64}_{49}{}^{66}_{28}{}^{68}_{19}$	<b>31 Ga</b> ГАЛЛИЙ ${}^{69}_{60}{}^{71}_{40}$	<b>31</b>

Определите число протонов и число нейтронов в ядре самого распространённого изотопа калия.

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

- 9 На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Под названием каждого элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов. При этом нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

2	II	<b>Li</b> 3 ЛИТИЙ 7 <sub>93</sub> 6 <sub>7,4</sub>	<b>Be</b> 4 БЕРИЛЛИЙ 9 <sub>100</sub>	5	<b>B</b> БОР 11 <sub>80</sub> 10 <sub>20</sub>
3	III	<b>Na</b> 11 НАТРИЙ 23 <sub>100</sub>	<b>Mg</b> 12 МАГНИЙ 24 <sub>79</sub> 26 <sub>11</sub> 25 <sub>10</sub>	13	<b>Al</b> АЛЮМИНИЙ 27 <sub>100</sub>
4	IV	<b>K</b> 19 КАЛИЙ 39 <sub>93</sub> 41 <sub>6,7</sub>	<b>Ca</b> 20 КАЛЬЦИЙ 40 <sub>97</sub> 44 <sub>2,1</sub>	21	<b>Sc</b> СКАНДИЙ 45 <sub>100</sub>
	V	29 <b>Cu</b> МЕДЬ 63 <sub>69</sub> 65 <sub>31</sub>	30 <b>Zn</b> ЦИНК 64 <sub>49</sub> 66 <sub>28</sub> 68 <sub>19</sub>	31	<b>Ga</b> ГАЛЛИЙ 69 <sub>60</sub> 71 <sub>40</sub>

Определите число протонов и число нейтронов в ядре наименее распространённого из упомянутых изотопов магния.

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

- 10 Радиоактивный изотоп натрия  ${}_{11}^{24}\text{Na}$  испытал  $\beta^-$ -распад. Определите зарядовое число и массовое число ядра, образовавшегося в результате этой реакции.

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

- 11 Радиоактивный изотоп висмута  ${}_{83}^{212}\text{Bi}$  претерпевает  $\beta^-$ -распад. Определите зарядовое число и массовое число ядра, образовавшегося в результате этой реакции.

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

- 12 Радиоактивный изотоп  ${}_{93}^{237}\text{Np}$  претерпевает  $\alpha$ -распад. Определите зарядовое число и массовое число ядра, образовавшегося в результате этой реакции.

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

- 13 Укажите зарядовое и массовое число ядра, из которого в результате  $\alpha$ -распада образуется ядро полония  ${}_{84}^{216}\text{Po}$ .

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

- 14 В результате реакции синтеза  ${}^2_1\text{H} + {}^9_4\text{Be} \rightarrow {}^A_Z\text{X} + {}^1_0\text{n}$  образуется ядро химического элемента  ${}^A_Z\text{X}$ . Укажите зарядовое и массовое число ядра этого химического элемента.

Ответ:

Зарядовое число Z	Массовое число A

- 15 Элемент менделевий был получен при бомбардировке  $\alpha$ -частицами ядер элемента X в соответствии с реакцией  ${}^A_Z\text{X} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{256}_{101}\text{Md} + {}^1_0\text{n}$ . Укажите зарядовое и массовое число ядра этого химического элемента.

Ответ:

Зарядовое число Z	Массовое число A

- 16 В результате столкновения ядра урана с частицей произошло деление ядра урана, описываемое реакцией  ${}^A_Z\text{X} + {}^{235}_{92}\text{U} \rightarrow {}^{94}_{36}\text{Kr} + {}^{139}_{56}\text{Ba} + 3{}^1_0\text{n} + 7\gamma$ . Определите зарядовое число Z и массовое число A частицы X.

Ответ:

Зарядовое число Z	Массовое число A

- 17 Укажите зарядовое и массовое число ядра, которое образовалось вместе с протоном в результате столкновения ядра лития  ${}^7_3\text{Li}$  и  $\alpha$ -частицы.

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

## ЗАДАНИЕ 20 ЧАСТИ 1

- 1 Частота красного света в 2 раза меньше частоты фиолетового света. Во сколько раз импульс фотона красного света меньше импульса фотона фиолетового света?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 2 Отношение импульсов двух фотонов  $\frac{p_1}{p_2} = 2$ . Определите отношение длин волн этих фотонов  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 3 Отношение импульсов двух фотонов  $\frac{p_1}{p_2} = 0,5$ . Определите отношение частот этих фотонов  $\nu_1/\nu_2$ .

Ответ: \_\_\_\_\_.

- 4 Длина волны рентгеновского излучения равна  $10^{-10}$  м. Во сколько раз энергия одного фотона этого излучения превосходит энергию фотона видимого света длиной волны  $4 \cdot 10^{-7}$  м?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

- 5 Фиолетовый свет ( $\lambda = 400$  нм) переходит из воздуха в воду с показателем преломления 1,33. Определите отношение энергии фотона в воздухе к его энергии в воде.

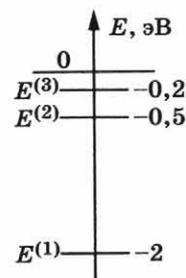
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 6 Зелёный свет ( $\lambda = 550$  нм) переходит из воздуха в стекло с показателем преломления 1,5. Определите отношение импульса фотона в воздухе к его импульсу в стекле.

Ответ: \_\_\_\_\_.

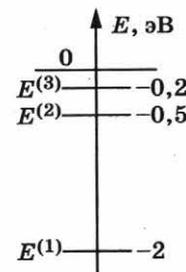
- 7 Схема низших энергетических уровней атомов разреженного атомарного газа имеет вид, изображённый на рисунке. В начальный момент времени атомы находятся в состоянии с энергией  $E^{(1)}$ . Фотоны с какой энергией должен поглотить данный газ, чтобы атомы перешли в состояние с энергией  $E^{(3)}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

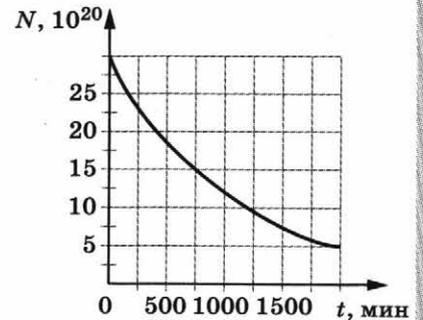


- 8 Схема низших энергетических уровней атомов разреженного атомарного газа имеет вид, изображённый на рисунке. В начальный момент времени атомы находятся в состоянии с энергией  $E^{(3)}$ . Фотоны с какой энергией должен излучить газ, чтобы атомы перешли в состояние с энергией  $E^{(2)}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

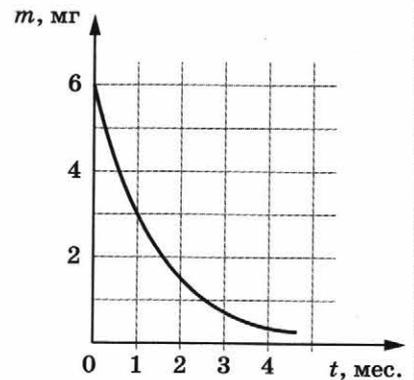


- 9 Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер висмута  $^{203}_{83}\text{Bi}$  от времени (см. рисунок). Чему равен период полураспада этого изотопа висмута?



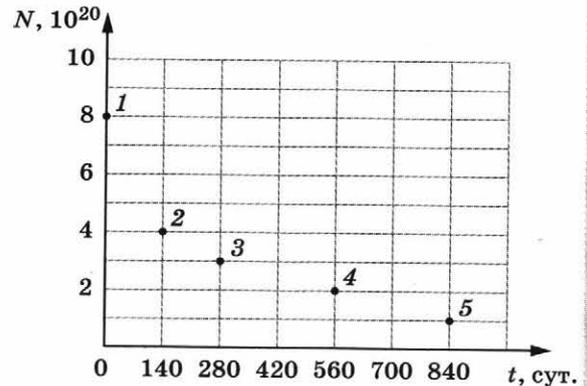
Ответ: \_\_\_\_\_ мин.

- 10 На рисунке показан график изменения массы находящегося в пробирке радиоактивного изотопа с течением времени. Определите период полураспада этого изотопа.



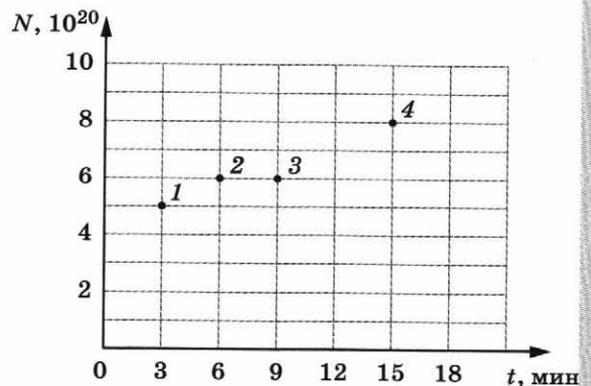
Ответ: \_\_\_\_\_ месяц(а, ев).

- 11 Ядра полония  $^{210}_{84}\text{Po}$  испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 140 дней. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{20}$  ядер полония. Через какую из точек, кроме точки 1, пройдёт график зависимости от времени числа ещё не испытывавших радиоактивный распад ядер полония (см. рисунок)?



Ответ: \_\_\_\_\_.

- 12 Из ядер таллия  $^{208}_{81}\text{Tl}$  при  $\beta$ -распаде с периодом полураспада 3 мин образуются стабильные ядра свинца. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{20}$  ядер таллия. Через какую из точек, кроме начала координат, пройдёт график зависимости числа ядер свинца от времени (см. рисунок)?



Ответ: \_\_\_\_\_.

13 Закон радиоактивного распада ядер некоторого изотопа имеет вид  $N = N_0 \cdot 2^{-\lambda t}$ , где  $\lambda = 0,05 \text{ с}^{-1}$ . Чему равен период полураспада ядер?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

14 Закон радиоактивного распада ядер некоторого изотопа имеет вид  $N = N_0 \cdot 2^{-\lambda t}$ , где  $\lambda = 0,1 \text{ с}^{-1}$ . Чему равен период полураспада ядер?

Ответ: \_\_\_\_\_ с.

15 Какая доля от исходного большого числа радиоактивных ядер распадается за интервал времени, равный двум периодам полураспада?

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

16 Какая доля от исходного большого числа радиоактивных ядер остаётся нераспавшейся через интервал времени, равный трём периодам полураспада?

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

17 50% первоначально имевшихся ядер радиоактивного изотопа распалось за 20 мин. Чему равен период полураспада этого изотопа?

Ответ: \_\_\_\_\_ мин.

18 75% первоначально имевшихся ядер радиоактивного изотопа распалось за 1 ч. Чему равен период полураспада этого изотопа?

Ответ: \_\_\_\_\_ мин.

19 Период полураспада изотопа кислорода  $^{14}_8\text{O}$  составляет 71 с. Какая доля от исходного большого количества этих ядер остаётся нераспавшейся через интервал времени, равный 142 с?

Ответ: \_\_\_\_\_ %.

20 Период полураспада гамма-радиоактивного изотопа равен 12,4 ч. Во сколько раз уменьшится интенсивность  $\gamma$ -излучения, идущего от образца, содержащего большое число ядер этого изотопа, за 24,8 ч?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

21 Период полураспада гамма-радиоактивного изотопа равен 12,4 ч. За какое время интенсивность  $\gamma$ -излучения, идущего от образца, содержащего большое число ядер этого изотопа, уменьшится в 8 раз?

Ответ: \_\_\_\_\_ ч.

- 22 В герметичный контейнер поместили 20 мг полония  ${}^{210}_{84}\text{Po}$ , ядра которого испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 140 дней. Какая масса полония останется в контейнере через 280 дней?

Ответ: \_\_\_\_\_ мг.

- 23 Образец радиоактивного радия находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 11,4 сут. Определите число **моль радия** в сосуде через 22,8 сут, если образец в момент помещения в сосуд содержал  $2,4 \cdot 10^{23}$  атомов радия.

Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

- 24 Образец радиоактивного радия находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 11,4 сут. Определите число **моль радия** в сосуде через 11,4 сут, если образец в момент помещения в сосуд содержал  $2,4 \cdot 10^{23}$  атомов радия.

Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

### ЗАДАНИЕ 21 ЧАСТИ 1

- 1 Источник монохроматического света заменили на другой, более высокой частоты. Как изменились при этом длина волны и энергия фотона в световом пучке?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Длина волны	Энергия фотона

- 2 Источник монохроматического света заменили на другой, с большей длиной волны. Как изменились при этом частота световой волны и импульс фотона в световом пучке?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

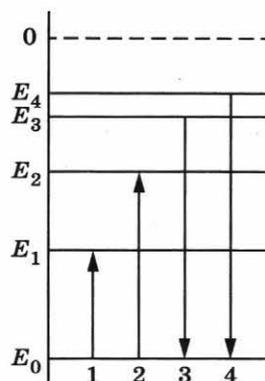
- 1) увеличилась
- 2) уменьшилась
- 3) не изменилась

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота световой волны	Импульс фотона

3 На рисунке изображена упрощённая диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих четырёх переходов связаны с поглощением кванта света с наименьшей частотой и излучением света наименьшей длины волны?

Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ПРОЦЕСС

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

- А) поглощение кванта света с наименьшей частотой
- Б) излучение света наименьшей длины волны

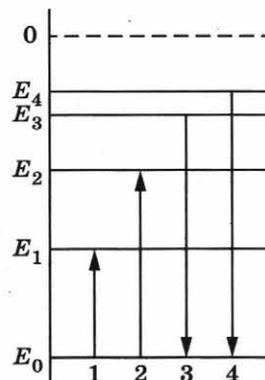
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Ответ:

А	Б

4 На рисунке изображена упрощённая диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих переходов связаны с поглощением света с наименьшей энергией и излучением кванта света с наибольшей длиной волны?

Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



ПРОЦЕСС

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

- А) поглощение света с наименьшей энергией
- Б) излучение кванта света с наибольшей длиной волны

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Ответ:

А	Б

- 5 Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\nu$  — частота фотона,  $c$  — скорость света в вакууме,  $h$  — постоянная Планка). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) длина волны фотона  
Б) импульс фотона

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $hc$   
2)  $\frac{h\nu}{c}$   
3)  $\frac{c}{\nu}$   
4)  $c\nu$

Ответ:

А	Б

- 6 Установите соответствие между физическими величинами и формулами, по которым их можно рассчитать ( $\nu$  — частота фотона,  $h$  — постоянная Планка,  $p$  — импульс фотона). К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

- А) длина волны фотона  
Б) энергия фотона

## ФОРМУЛЫ

- 1)  $\frac{p}{h}$   
2)  $\frac{h}{p}$   
3)  $h \cdot \nu$   
4)  $\frac{\nu}{h}$

Ответ:

А	Б

- 7 Как изменяется с уменьшением массового числа изотопов одного и того же элемента число нейтронов в ядре и число электронов в электронной оболочке соответствующего нейтрального атома?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается  
2) уменьшается  
3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число нейтронов в ядре	Число электронов в электронной оболочке нейтрального атома

- 8 У одного изотопа меди массовое число равно  $A_1$ , а у другого равно  $A_2$ , причём  $A_2 > A_1$ . Как меняется число протонов и число нейтронов в ядре при переходе от первого изотопа ко второму?  
Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число протонов в ядре	Число нейтронов в ядре

- 9 При исследовании зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от длины волны падающего света фотоэлемент освещался через различные светофильтры. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только зелёный свет, а во второй — пропускающий только фиолетовый свет. В каждом опыте наблюдали явление фотоэффекта и измеряли запирающее напряжение.

Как изменяются длина волны и запирающее напряжение при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Длина волны, падающей на фотоэлемент	Запирающее напряжение

- 10 При исследовании зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от длины волны падающего света фотоэлемент освещался через различные светофильтры. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только синий свет, а во второй — пропускающий только красный свет. В каждом опыте наблюдали явление фотоэффекта и измеряли запирающее напряжение.

Как изменяются длина волны и запирающее напряжение при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Длина волны, падающей на фотоэлемент	Запирающее напряжение

- 11 При исследовании зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от частоты падающего света фотоэлемент освещался через светофильтры. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только жёлтый свет, а во второй — только синий. В каждом опыте наблюдали явление фотоэффекта и измеряли запирающее напряжение. Как изменятся частота световой волны и работа выхода при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждого ответа. Цифры в ответе могут повторяться.

Частота волны света, падающего на фотоэлемент	Работа выхода

- 12 Ядро испытывает позитронный  $\beta$ -распад (среди продуктов распада есть позитрон  ${}_{+1}^0e$ ). Как при этом изменяются массовое число ядра и число протонов в ядре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Массовое число ядра	Число протонов в ядре

- 13 Ядро испытывает  $\alpha$ -распад. Как при этом изменяются масса ядра и число протонов в ядре?

Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Масса ядра	Число протонов в ядре

- 14 Одним из примеров ядерных превращений является захват ядром одного из ближайших к нему электронов из электронной оболочки атома. Как меняются при этом число протонов и массовое число ядра? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число протонов в ядре	Массовое число ядра

- 15 В ядерном реакторе цепочка ядерных реакций начинается с захвата ядром быстрого нейтрона. Как изменятся при захвате нейтрона заряд ядра и число нуклонов в ядре? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

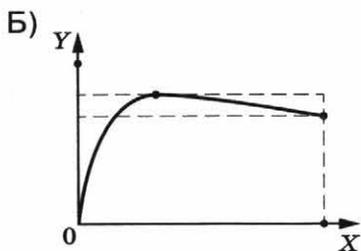
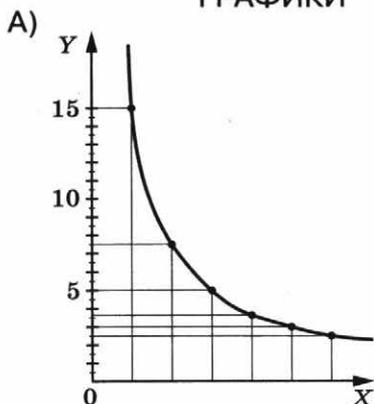
- 1) увеличится
- 2) уменьшится
- 3) не изменится

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Заряд ядра	Число нуклонов в ядре

- 16 Установите соответствие между графиками А и Б и видами зависимости, которые они могут выражать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

## ГРАФИКИ



Ответ:

А	Б

## ВИДЫ ЗАВИСИМОСТИ

- 1) зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света
- 2) зависимость энергии фотонов от длины волны излучения
- 3) зависимость удельной энергии связи ядер от массового числа
- 4) зависимость энергии фотонов от частоты

## ЗАДАНИЕ 26 ЧАСТИ 2

## Пример решения задачи

Мощность излучения лазерной указки с длиной волны 500 нм равна 1 мВт. Определите время, за которое лазерная указка излучает  $5 \cdot 10^{15}$  фотонов. Ответ округлите до целых.

Дано:	Решение:
$\lambda = 500 \text{ нм} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ $P = 1 \text{ мВт} = 10^{-3} \text{ Вт}$ $N = 5 \cdot 10^{15}$	<p>Мощность светового излучения указки равна <math>P = \frac{E}{t}</math>, где <math>E</math> — энергия всех фотонов, излучённых указкой за время <math>t</math>. Энергия одного фотона определяется формулой Планка:</p> $E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}.$ <p>Таким образом, <math>P = \frac{NE_0}{t} = \frac{Nhc}{\lambda t}</math>.</p> <p>В итоге <math>t = \frac{Nhc}{\lambda P} = \frac{5 \cdot 10^{15} \cdot 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{5 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3}} \approx 2 \text{ с.}</math></p>
$t$ — ?	Ответ: <u>  2  </u> с.

## Задачи для самостоятельного решения

1 Детектор поглощает падающий на него монохроматический свет, при этом за время 11 с поглощается  $4 \cdot 10^5$  фотонов. Мощность, поглощаемая детектором, равна  $1,2 \cdot 10^{-14}$  Вт. Чему равна частота падающего света?

Ответ: \_\_\_\_\_ Гц.

2 Пороговая чувствительность сетчатки человеческого глаза к видимому свету составляет  $1,65 \cdot 10^{-18}$  Вт, при этом на сетчатку глаза каждую секунду попадает 5 фотонов. Определите, какой длине волны это соответствует.

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

3 Лазерная указка за 3 с излучает  $6 \cdot 10^{16}$  фотонов. Длина волны излучения указки равна 450 нм. Определите мощность излучения указки.

Ответ: \_\_\_\_\_ мВт.

4 На металлическую пластинку, изготовленную из цезия, падает электромагнитное излучение, выбивающее из неё электроны, кинетическая энергия которых принимает значения от 0 до 3 эВ. Работа выхода электронов из цезия равна 1,8 эВ. Чему равна энергия фотонов, падающих на пластинку?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

5 Поток фотонов выбивает фотоэлектроны из металла с работой выхода 2,4 эВ. Энергия фотонов в 3 раза больше максимальной кинетической энергии фотоэлектронов. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

6 На металлическую пластинку падает монохроматическая электромагнитная волна. Максимальная кинетическая энергия электронов, вылетевших из пластинки в результате фотоэффекта, составляет 4,5 эВ, а энергия падающих фотонов в 2,5 раза больше работы выхода электронов из металла. Чему равна работа выхода электронов из металла?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

7 Работа выхода электронов для исследуемого металла равна 2,7 эВ. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих с поверхности под действием света, длина волны которого составляет  $\frac{3}{5}$  длины волны, соответствующей красной границе фотоэффекта для этого металла?

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

## Пример решения задачи

Чему равна максимальная скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности калиевого фотокатода, при облучении его светом частотой  $8 \cdot 10^{14}$  Гц, если красная граница фотоэффекта для калия равна  $0,62$  мкм? Ответ (в км/с) округлите до целых.

Дано:	Решение:
$\nu = 8 \cdot 10^{14}$ Гц $\lambda_{\text{кр}} = 0,62$ мкм	<p>Согласно уравнению Эйнштейна для фотоэффекта:</p> $h\nu = A_{\text{вых}} + E_{\text{к}} = A_{\text{вых}} + \frac{mv^2}{2}.$ <p>В свою очередь, работа выхода электронов с поверхности металла связана с красной границей фотоэффекта: <math>A_{\text{вых}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}.</math></p> <p>Таким образом, <math>h\nu = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}} + \frac{mv^2}{2}.</math></p> <p>В итоге</p> $v = \sqrt{\frac{2h}{m} \left( \nu - \frac{c}{\lambda_{\text{кр}}} \right)} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6,6 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \left( 8 \cdot 10^{14} - \frac{3 \cdot 10^8}{0,62 \cdot 10^{-6}} \right)} \approx 678 \frac{\text{км}}{\text{с}}.$
$v = ?$	Ответ: <u>678</u> км/с.

## Задачи для самостоятельного решения

- 8 Красная граница фотоэффекта для натриевого фотокатода  $\lambda_{\text{кр}} = 0,54$  мкм. Чему равна максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов, вылетающих из натриевого фотокатода, освещённого светом длиной волны  $\lambda = 0,30$  мкм? Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

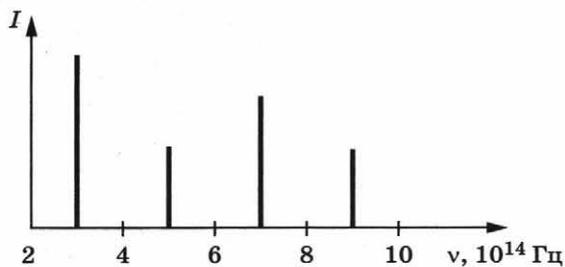
- 9 Работа выхода электрона из цинка равна  $6,7 \cdot 10^{-19}$  Дж. Найдите максимальную длину волны света, которым могут выбиваться электроны с поверхности этого металла. Ответ округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

- 10 Красная граница фотоэффекта для калия  $\lambda_{\text{кр}} = 0,62$  мкм. Чему равна длина волны света, падающего на калиевый фотокатод, если максимальная скорость фотоэлектронов  $600$  км/с? Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

11 На металлическую пластинку с работой выхода  $A = 2,4$  эВ падает электромагнитное излучение, имеющее три частоты различной интенсивности (см. рисунок). Определите максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов. Ответ округлите до десятых.



Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

### Пример решения задачи

В опыте по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. При этом измеряется запирающее напряжение. В таблице представлены результаты исследования зависимости запирающего напряжения  $U$  от длины волны  $\lambda$  падающего света.

Запирающее напряжение $U$ , В	0,4	0,6
Длина волны света $\lambda$ , нм	546	491

Чему равна постоянная Планка по результатам этого эксперимента?

Дано:	Решение:
$U_1 = 0,4$ В $U_2 = 0,6$ В $\lambda_1 = 546 \cdot 10^{-9}$ м $\lambda_2 = 491 \cdot 10^{-9}$ м	<p>Запишем уравнение Эйнштейна для фотоэффекта применительно к результатам приведённого исследования:</p> $\frac{hc}{\lambda_1} = A_{\text{вых}} + E_{\text{к1}} = A_{\text{вых}} + eU_1 \quad \text{и} \quad \frac{hc}{\lambda_2} = A_{\text{вых}} + E_{\text{к2}} = A_{\text{вых}} + eU_2.$ <p>Вычитая из второго уравнения первое, получим</p> $hc \left( \frac{1}{\lambda_2} - \frac{1}{\lambda_1} \right) = e(U_2 - U_1).$ <p>Таким образом,</p> $h = \frac{e(U_2 - U_1)\lambda_1\lambda_2}{c(\lambda_1 - \lambda_2)} = \frac{1,6 \cdot 10^{19} \cdot (0,6 - 0,4) \cdot 546 \cdot 10^{-9} \cdot 491 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^8 \cdot (546 \cdot 10^{-9} - 491 \cdot 10^{-9})} \approx 5,2 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$
$h - ?$	Ответ: _____ $5,2 \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

### Задачи для самостоятельного решения

12 Работа выхода электронов из материала катода вакуумного фотоэлемента, изготовленного из вольфрама, равна 4,5 эВ. Катод освещается монохроматическим светом, у которого энергия фотонов равна 7,2 эВ. При каком запирающем напряжении прекратится фототок?

Ответ: \_\_\_\_\_ В.

- 13 При облучении металлического фотокатода светом длиной волны 0,3 мкм максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов равна 1,5 эВ. Найдите красную границу фотоэффекта для металла фотокатода. Ответ округлите до сотых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

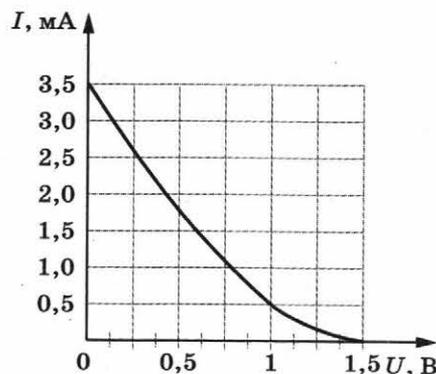
- 14 В опыте по изучению фотоэффекта фотоэлектроны тормозятся электрическим полем. При этом измеряется запирающее напряжение. В таблице представлены результаты одного из первых таких опытов при освещении одной и той же пластины, в ходе которого было получено значение постоянной Планка:  $h = 6,2 \cdot 10^{-34}$  Дж · с.

Запирающее напряжение $U$ , В		1,6
Частота $\nu$ , $10^{14}$ Гц	4,2	6,8

Чему равно опущенное в таблице первое значение запирающего напряжения? Ответ округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ В.

- 15 На графике приведена зависимость фототока от приложенного обратного напряжения при освещении металлической пластины (фотокатода) излучением с энергией 5 эВ. Чему равна работа выхода для этого металла?



Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

### Пример решения задачи

Атомарный разреженный водород, находящийся в основном состоянии ( $E_1 = -13,6$  эВ), поглощает электромагнитное излучение частотой  $4 \cdot 10^{15}$  Гц и ионизируется. Определите скорость электронов, вылетевших из атома в результате ионизации. Энергией теплового движения атомов водорода можно пренебречь.

Дано:	Решение:
$E_1 = -13,6$ эВ $\nu = 4 \cdot 10^{15}$ Гц	<p>Согласно закону сохранения энергии энергия кванта электромагнитного излучения расходуется на ионизацию атома водорода и сообщение электрону кинетической энергии:</p> $h\nu = E_{\text{ион}} + \frac{mv^2}{2} =  E_1  + \frac{mv^2}{2}.$ <p>Таким образом,</p> $v = \sqrt{\frac{2(h\nu -  E_1 )}{m}} = \sqrt{\frac{2 \cdot (6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 4 \cdot 10^{15} - 13,6 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19})}{9,1 \cdot 10^{-31}}} \approx 10^6 \text{ м/с} = 1000 \text{ км/с}.$
$v = ?$	Ответ: _____ 1000 _____ км/с.

## Задачи для самостоятельного решения

- 16 В сосуде содержится разреженный атомарный водород, атомы которого находятся в основном состоянии ( $E_1 = -13,6$  эВ). Какой максимальной длиной волны должно обладать электромагнитное излучение, чтобы ионизировать атомы водорода? Ответ запишите в нанометрах и округлите до целых.

Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

- 17 В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода, находясь в возбуждённом состоянии ( $E_3 = -1,5$  эВ), переходит в основное состояние ( $E_1 = -13,6$  эВ) и излучает фотон. Определите длину волны излучённого фотона. Ответ запишите в микрометрах и округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ мкм.

## ПРОВЕРОЧНАЯ РАБОТА ПО РАЗДЕЛУ «КВАНТОВАЯ ФИЗИКА»

- 1 Укажите число протонов и число нейтронов в ядре  ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ .

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

- 2 На рисунке представлен фрагмент Периодической системы элементов Д. И. Менделеева. Под названием каждого элемента приведены массовые числа его основных стабильных изотопов. При этом нижний индекс около массового числа указывает (в процентах) распространённость изотопа в природе.

2	II	Li 3 ЛИТИЙ ${}^7_{93}{}^6_{7,4}$	Be 4 БЕРИЛЛИЙ ${}^9_{100}$	5 B БОР ${}^{11}_{80}{}^{10}_{20}$
3	III	Na 11 НАТРИЙ ${}^{23}_{100}$	Mg 12 МАГНИЙ ${}^{24}_{79}{}^{26}_{11}{}^{25}_{10}$	13 Al АЛЮМИНИЙ ${}^{27}_{100}$
4	IV	K 19 КАЛИЙ ${}^{39}_{93}{}^{41}_{6,7}$	Ca 20 КАЛЬЦИЙ ${}^{40}_{97}{}^{44}_{2,1}$	Sc 21 СКАНДИЙ ${}^{45}_{100}$
	V	29 Cu МЕДЬ ${}^{63}_{69}{}^{65}_{31}$	30 Zn ЦИНК ${}^{64}_{49}{}^{66}_{28}{}^{68}_{19}$	31 Ga ГАЛЛИЙ ${}^{69}_{60}{}^{71}_{40}$

Определите число протонов и число нейтронов в ядре наименее распространённого из упомянутых изотопов цинка.

Ответ:

Число протонов	Число нейтронов

- 3 Укажите массовое число и зарядовое число ядра, которое образовалось в результате  $\alpha$ -распада ядра радия  ${}_{88}^{224}\text{Ra}$ .

Ответ:

Массовое число	Зарядовое число

- 4 Деление ядра урана тепловыми нейтронами описывается реакцией  ${}_0^1n + {}_{92}^{235}\text{U} \rightarrow {}_Z^AX + {}_{56}^{139}\text{Ba} + 3{}_0^1n + 7\gamma$ . При этом образовалось ядро химического элемента  ${}_Z^AX$ . Определите зарядовое число  $Z$  и массовое число  $A$  элемента  $X$ .

Ответ:

Зарядовое число	Массовое число

- 5 Модуль импульса фотона в первом пучке света в 2 раза больше, чем во втором. Определите отношение частоты света первого пучка к частоте второго.

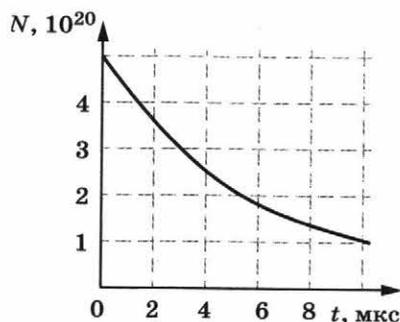
Ответ: \_\_\_\_\_.

- 6 Зелёный свет ( $\lambda = 550$  нм) переходит из воздуха в стекло с показателем преломления 1,5. Определите отношение энергии фотона в воздухе к его энергии в стекле.

Ответ: \_\_\_\_\_.

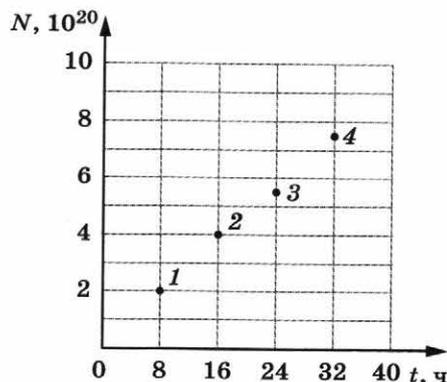
- 7 Дан график зависимости числа нераспавшихся ядер полония  ${}_{84}^{213}\text{Po}$  от времени (см. рисунок). Чему равен период полураспада этого изотопа?

Ответ: \_\_\_\_\_ мкс.



- 8 Из ядер эрбия  ${}_{68}^{171}\text{Er}$  при  $\beta^-$ -распаде с периодом полураспада 8 ч образуются ядра тулия с периодом полураспада 2 года. В момент начала наблюдения в образце содержится  $8 \cdot 10^{20}$  ядер эрбия. Через какую из точек, кроме начала координат, пройдёт график зависимости от времени числа ядер тулия (см. рисунок)?

Ответ: \_\_\_\_\_.



- 9 Период полураспада изотопа висмута  $^{210}_{83}\text{Bi}$  равен 5 дням. Какая масса этого изотопа осталась через 10 дней в образце, содержащем первоначально 80 мг висмута  $^{210}_{83}\text{Bi}$ ?

Ответ: \_\_\_\_\_ мг.

- 10 Образец радиоактивного радия находится в закрытом сосуде, из которого откачан воздух. Ядра радия испытывают  $\alpha$ -распад с периодом полураспада 11,4 сут. Определите число моль гелия в сосуде через 22,8 сут., если образец в момент помещения в сосуд содержал  $2,4 \cdot 10^{23}$  атомов радия.

Ответ: \_\_\_\_\_ моль.

- 11 У одного изотопа галлия массовое число равно  $A_1$ , а у другого равно  $A_2$ , причём  $A_2 < A_1$ . Как меняется число нейтронов в ядре и число электронов в нейтральном атоме при переходе от первого изотопа ко второму? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Число нейтронов в ядре	Число электронов в нейтральном атоме

- 12 При исследовании зависимости кинетической энергии фотоэлектронов от длины волны падающего света фотоэлемент освещался через различные светофильтры. В первой серии опытов использовался светофильтр, пропускающий только зелёный свет, а во второй — пропускающий только красный свет. В каждом опыте наблюдали явление фотоэффекта и измеряли запирающее напряжение.

Как изменяются длина волны и запирающее напряжение при переходе от первой серии опытов ко второй? Для каждой величины определите соответствующий характер её изменения:

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Длина волны света, падающего на фотоэлемент	Запирающее напряжение

- 13 Ядро испытывает позитронный  $\beta$ -распад (среди продуктов распада есть позитрон  ${}^0_{+1}e$ ). Как при этом изменяются заряд ядра и число нейтронов в ядре? Для каждой величины определите соответствующий характер изменения:

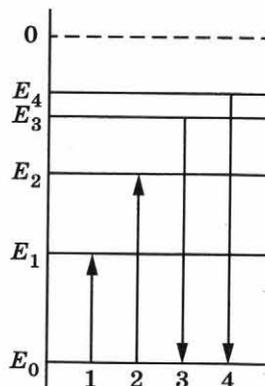
- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется

Запишите в таблицу выбранные цифры для каждой физической величины. Цифры в ответе могут повторяться.

Заряд ядра	Число нейтронов в ядре

- 14 На рисунке изображена упрощённая диаграмма энергетических уровней атома. Нумерованными стрелками отмечены некоторые возможные переходы атома между этими уровнями. Какие из этих четырёх переходов связаны с поглощением кванта света с наименьшей длиной волны и излучением света с максимальной частотой?

Установите соответствие между процессами поглощения и испускания света и стрелками, указывающими энергетические переходы атома. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.



## ПРОЦЕСС

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПЕРЕХОД

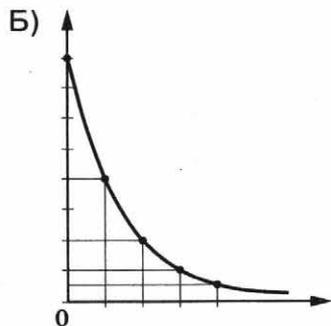
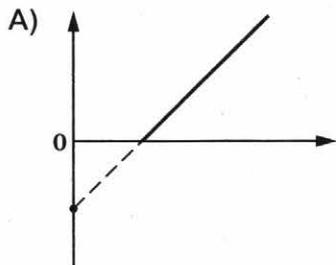
- |   |              |
|---|--------------|
| А) поглощение кванта света наименьшей длины волны | 1) 1<br>2) 2 |
| Б) излучение света с максимальной частотой        | 3) 3<br>4) 4 |

Ответ:

А	Б

- 15 Установите соответствие между графиками, представленными на рисунках, и законами (зависимостями), которые они могут выражать. К каждой позиции первого столбца подберите соответствующую позицию второго и запишите в таблицу выбранные цифры под соответствующими буквами.

ГРАФИК



ЗАКОН

- 1) закон радиоактивного распада
- 2) закон Эйнштейна пропорциональности массы и энергии
- 3) зависимость максимальной кинетической энергии фотоэлектронов от частоты света
- 4) зависимость энергии фотона от частоты света

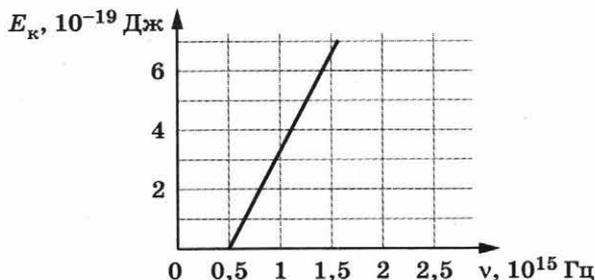
Ответ:

А	Б

16 На металлическую пластинку падает свет с длиной волны  $\lambda = 450$  нм. Красная граница фотоэффекта для металла этой пластинки  $\lambda_{кр} = 600$  нм. Во сколько раз энергия падающего фотона превосходит максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона, выбитого из пластинки?

Ответ: в \_\_\_\_\_ раз(а).

17 Слой оксида кальция облучается светом и испускает электроны. На рисунке показан график зависимости максимальной энергии фотоэлектронов от частоты падающего света. Чему равна длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта для оксида кальция?



Ответ: \_\_\_\_\_ нм.

18 В сосуде находится разреженный атомарный водород. Атом водорода в основном состоянии ( $E_1 = -13,6$  эВ) поглощает фотон и ионизируется. Электрон, вылетевший из атома в результате ионизации, движется вдали от ядра со скоростью  $v = 1000$  км/с. Чему равна энергия поглощённого фотона? Энергией теплового движения атомов водорода можно пренебречь. Ответ запишите в электронвольтах и округлите до десятых.

Ответ: \_\_\_\_\_ эВ.

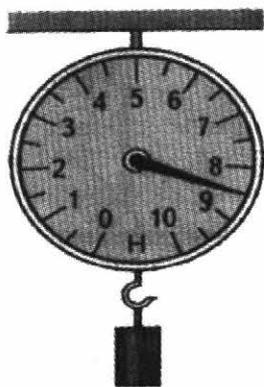
## Уроки 67—68.

## Задания для самостоятельной работы

## ЗАДАНИЕ 22

- 1 Ученик измерял силу тяжести, действующую на груз. Показания динамометра приведены на рисунке. Погрешность измерения равна цене деления динамометра. Запишите показания динамометра с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ Н.

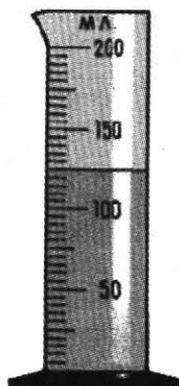
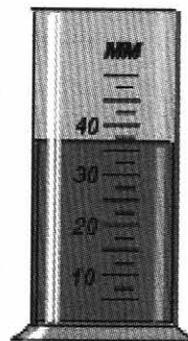


- 2 Ученик измерял вес груза с помощью динамометра. Показания динамометра приведены на рисунке. Погрешность измерения равна половине цены деления динамометра. Запишите в ответ показания динамометра с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ Н.

- 3 Ученик измерял объём жидкости с помощью мензурки (см. рисунок). Погрешность измерения объёма равна цене деления мензурки. Запишите в ответ объём жидкости с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ см<sup>3</sup>.

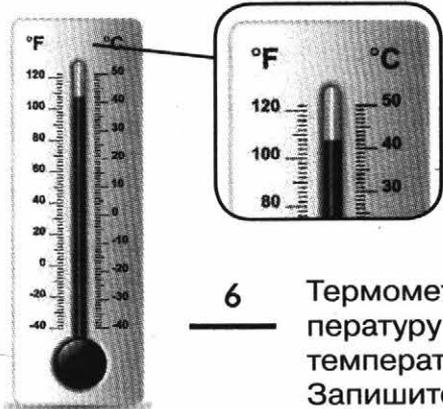


- 4 Ученик измерял объём жидкости с помощью мензурки (см. рисунок). Погрешность измерения объёма равна цене деления мензурки. Запишите в ответ объём жидкости с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ см<sup>3</sup>.

- 5 Ученик измерял температуру воздуха в классе. Показания термометра приведены на рисунке. Погрешность измерения температуры равна цене деления термометра. Чему равна температура воздуха в классе по результатам этих измерений? Запишите в ответ показания термометра с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ °С.



- 6 Термометр, изображённый на рисунке, показывает температуру воздуха в комнате. Погрешность измерения температуры равна половине цены деления термометра. Запишите в ответ показания термометра в градусах Цельсия с учётом погрешности измерений.

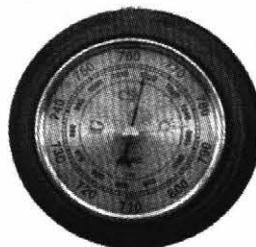
Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ °С.



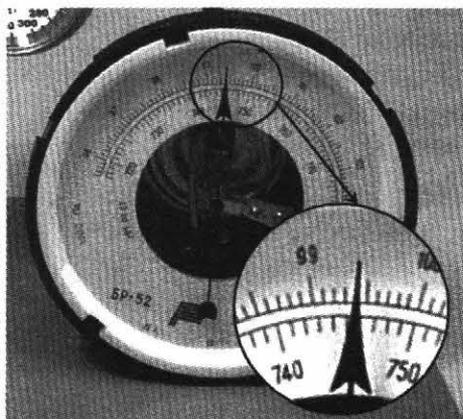
- 7 Термометр, изображённый на рисунке, показывает температуру горячего масла. Погрешность измерения температуры равна цене деления термометра. Запишите в ответ показания термометра с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ °С.

- 8 С помощью барометра (см. рисунок) проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в мм рт. ст., а нижняя шкала — в гПа. Погрешность измерений давления равна ±2 гПа. Чему равно атмосферное давление по результатам этих измерений (в гПа)? Запишите в ответ показания барометра с учётом погрешности измерений.



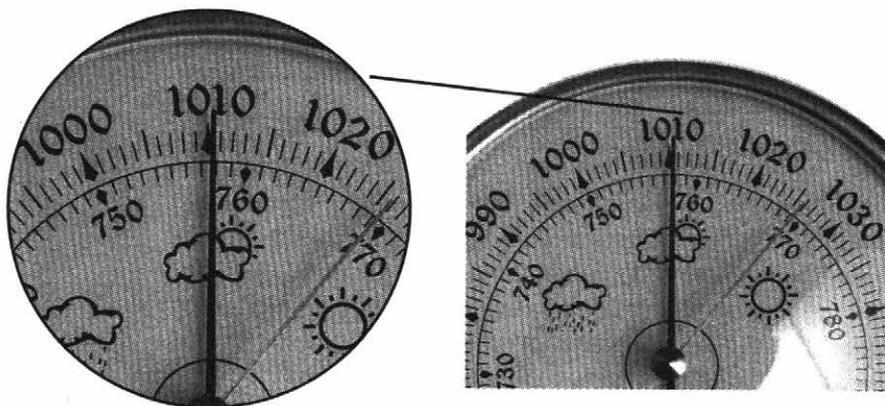
Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ гПа.



- 9 С помощью барометра (см. рисунок) проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в кПа, а нижняя шкала — в мм рт. ст. Погрешность измерений давления равна цене деления шкалы барометра. Чему равно атмосферное давление по результатам этих измерений (в мм рт. ст.)? Запишите в ответ показания барометра с учётом погрешности измерений.

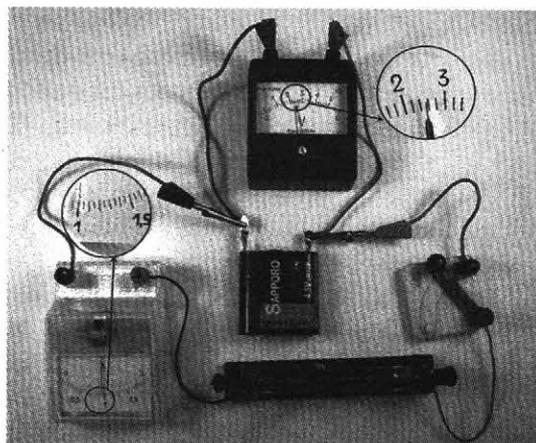
Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ мм рт. ст.

- 10 С помощью барометра (см. рисунок) проводились измерения атмосферного давления. Верхняя шкала барометра проградуирована в гПа, а нижняя шкала — в мм рт. ст. Погрешность измерений давления равна половине цены деления шкалы барометра. Чему равно атмосферное давление по результатам этих измерений (в гПа)? Запишите в ответ показания барометра с учётом погрешности измерений.



Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ гПа.

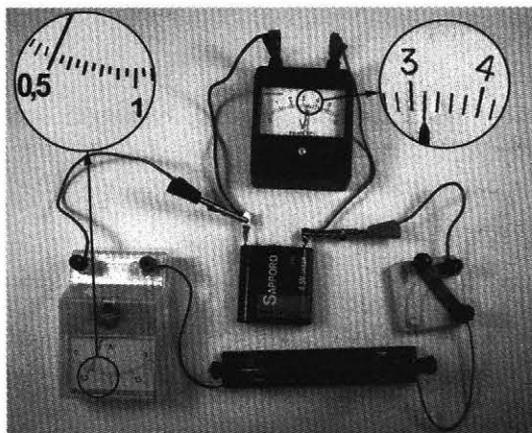
- 11 Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки, реостата, ключа, амперметра и вольтметра. После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи (см. рисунок). Погрешности измерений силы тока в цепи и напряжения равны цене деления амперметра и вольтметра. Чему равна по результатам этих измерений сила тока в цепи?



Запишите в ответ показания амперметра с учётом погрешности измерений.

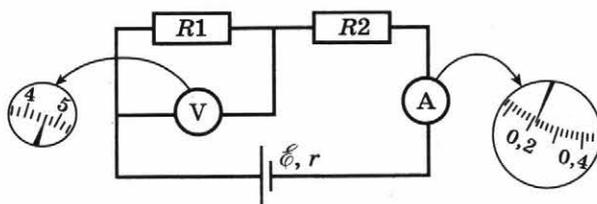
Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ А.

- 12 На рисунке приведена электрическая цепь для измерения сопротивления реостата. Погрешности измерений силы тока в цепи и напряжения на реостате равны половине цены деления амперметра и вольтметра. Чему равно по результатам этих измерений напряжение на клеммах источника?



Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ В.

- 13 При проведении лабораторной работы ученик собрал электрическую цепь по схеме (см. рисунок). Погрешности измерений силы тока в цепи и напряжения на резисторе равны цене деления амперметра и вольтметра.



Запишите показание амперметра с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ А.

- 14 На рисунке приведена схема электрической цепи, собранной учеником для исследования зависимости силы тока, проходящего через резистор, от напряжения на нём. На рисунках 1 и 2 показаны шкалы амперметра и вольтметра. Погрешности измерений приборов равны цене деления. Чему равно по результатам этих измерений напряжение на участке электрической цепи с учётом погрешности измерений?

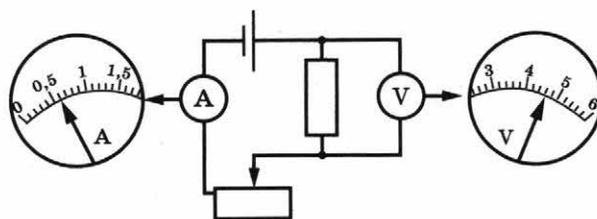


Рис. 1

Рис. 2

Ответ: \_\_\_\_\_ ± \_\_\_\_\_ В.

- 15 Для того чтобы более точно измерить массу одной шайбы, на электронные весы положили 30 шайб. Весы показали 12,0 г. Погрешность весов равна  $\pm 1,5$  г. Чему равна масса одной шайбы по результатам этих измерений?

Запишите ответ с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ г.

- 16 С помощью ученической линейки измерили толщину пачки из 50 листов бумаги. Толщина пачки оказалась  $(50 \pm 1)$  мм. Определите толщину одного листа бумаги с учётом погрешности измерений.

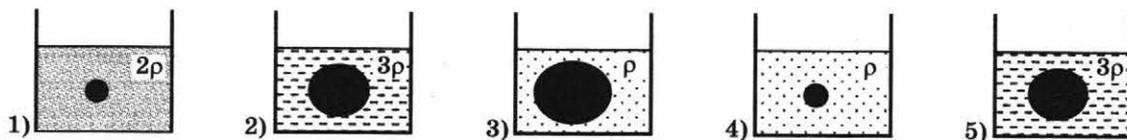
Ответ: \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ мм.

- 17 С помощью ученической линейки измерили толщину стопки из 20 шайб. Толщина стопки оказалась  $(42 \pm 1)$  мм. Определите толщину одной шайбы с учётом погрешности измерений.

Ответ: \_\_\_\_\_  $\pm$  \_\_\_\_\_ мм.

### ЗАДАНИЕ 23

- 1 Ученик изучает закон Архимеда, изменяя в опытах объём погруженного в жидкость тела и плотность жидкости. Какие два опыта он должен выбрать, чтобы обнаружить зависимость архимедовой силы от объёма погруженного тела? (На рисунках указана плотность жидкости.)

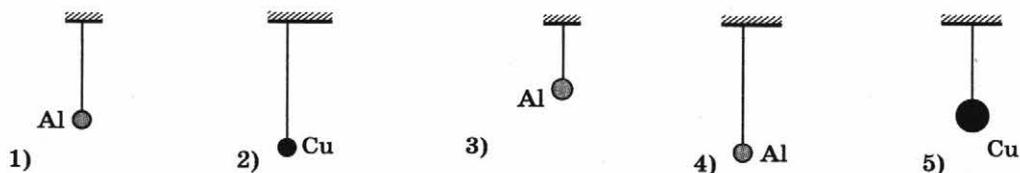


Запишите в таблицу номера выбранных опытов.

Ответ: 

--	--

- 2 Ученик изучает колебания нитяного маятника, измеряя в опытах массу грузов и длину нити. Какие два опыта он должен выбрать, чтобы выяснить, зависит ли период колебаний маятника от его массы?

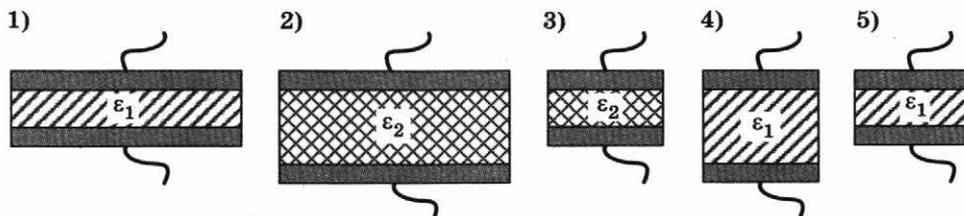


Запишите в таблицу номера выбранных опытов.

Ответ: 

--	--

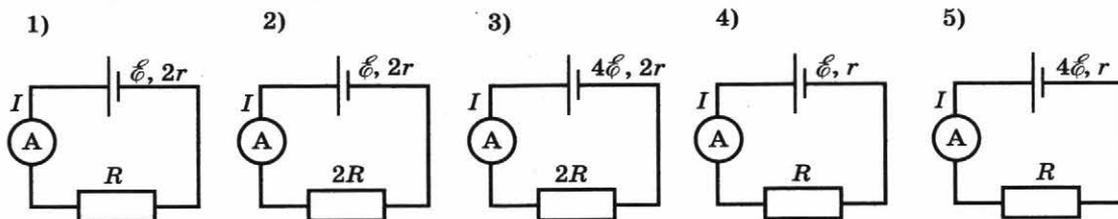
3 Конденсатор состоит из двух круглых пластин, между которыми находится диэлектрик ( $\epsilon$  — диэлектрическая проницаемость диэлектрика). Необходимо экспериментально установить, зависит ли электроёмкость конденсатора от площади его пластин. Какие два конденсатора следует использовать для проведения такого исследования?



В ответ запишите номера выбранных конденсаторов.

Ответ:

4 Ученик изучает закон Ома для полной цепи. В его распоряжении имеется пять установок, состоящих из источников с различными ЭДС и внутренними сопротивлениями, резисторов разного сопротивления и амперметра. Какие две установки необходимо использовать ученику, для того чтобы на опыте обнаружить зависимость силы тока от сопротивления внешнего участка цепи?

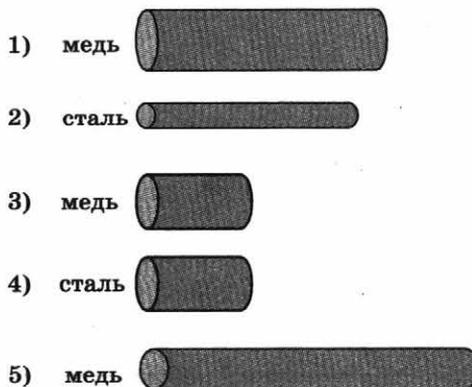


В ответ запишите номера выбранных установок.

Ответ:

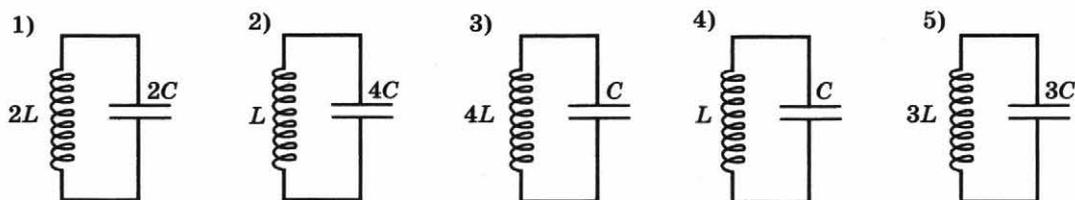
5 Различные проволоки изготовлены из меди и стали. Какие две проволоки нужно выбрать, чтобы на опыте проверить зависимость сопротивления проволоки от свойств материала, из которого она изготовлена?

Запишите в таблицу номера выбранных проволок.



Ответ:

- 6 Необходимо экспериментально изучить зависимость периода свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре от ёмкости конденсатора. Какие две установки следует использовать для проведения такого исследования?

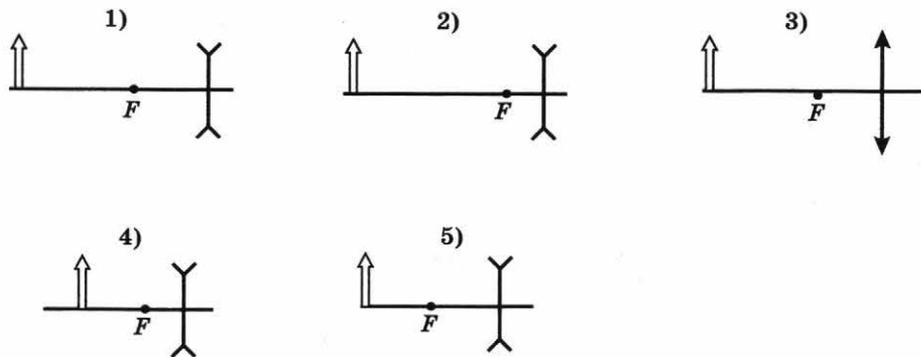


В ответ запишите номера выбранных установок.

Ответ:

--	--

- 7 Была выдвинута гипотеза, что размер создаваемого рассеивающей линзой мнимого изображения предмета зависит от оптической силы линзы. Необходимо экспериментально проверить эту гипотезу. Какие два опыта можно провести для такого исследования?



Запишите в таблицу номера выбранных опытов.

Ответ:

--	--

- 8 Ученик изучает силу Архимеда, действующую на тело, полностью погруженное в жидкость. В его распоряжении имеется пять установок, состоящих из сосудов с различными жидкостями и сплошных шариков различного объёма, сделанных из разных материалов (см. таблицу). Какие две установки необходимо использовать ученику, для того чтобы на опыте обнаружить зависимость силы Архимеда от объёма тела?

Номер установки	Жидкость, налитая в сосуд	Объём шарика	Материал, из которого сделан шарик
1	керосин	30 см <sup>3</sup>	сталь
2	вода	20 см <sup>3</sup>	алюминий
3	керосин	20 см <sup>3</sup>	алюминий
4	подсолнечное масло	30 см <sup>3</sup>	сталь
5	вода	30 см <sup>3</sup>	алюминий

В ответ запишите номера выбранных установок.

Ответ:

--	--

- 9 В процессе исследования силы трения, действующей между деревянным бруском с грузами и поверхностью, было проведено пять опытов, параметры установок которых приведены в таблице. В каждом опыте брусок с грузами равномерно передвигали по горизонтальной поверхности, измеряя горизонтальную силу тяги. На основании каких двух опытов можно сделать предположение о зависимости силы трения от силы нормального давления?

Номер установки	Сила тяги	Масса бруска с грузами	Материал поверхности, по которой движется брусок
1	3 Н	600 г	дерево
2	2,8 Н	800 г	бумага
3	2,6 Н	800 г	пластмасса
4	2,2 Н	700 г	сталь
5	3,5 Н	700 г	дерево

В ответ запишите номера выбранных опытов.

Ответ:

--	--

- 10 Для проведения опыта по обнаружению зависимости периода колебаний нитяного маятника от длины нити ученику выдали пять маятников, параметры которых указаны в таблице. Грузы — полые металлические ша-

рики одинакового объёма. Какие два маятника из предложенных ниже необходимо взять ученику, чтобы провести данное исследование?

Номер маятника	Длина нити	Масса груза	Материал, из которого сделан груз
1	60 см	100 г	медь
2	100 см	200 г	сталь
3	80 см	300 г	алюминий
4	80 см	100 г	алюминий
5	150 см	200 г	сталь

В ответ запишите номера выбранных маятников.

Ответ:

- 11 Для проведения лабораторной работы по обнаружению зависимости сопротивления проводника от его диаметра ученику выдали пять проводников, изготовленных из разных материалов, различной длины и диаметра (см. таблицу). Какие два проводника из предложенных необходимо взять ученику, чтобы провести данное исследование?

Номер проводника	Длина проводника	Диаметр проводника	Материал
1	5 м	1,0 мм	алюминий
2	10 м	0,5 мм	медь
3	20 м	1,0 мм	медь
4	10 м	1,0 мм	медь
5	10 м	0,5 мм	алюминий

В ответ запишите номера выбранных проводников.

Ответ:

- 12 Ученику необходимо провести исследование зависимости частоты свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре от индуктивности катушки. Параметры колебательных контуров приведены в таблице. Какие два колебательных контура из предложенных ниже необходимо взять ученику, чтобы провести данное исследование?

Номер колебательного контура	Емкость конденсатора	Индуктивность катушки
1	16 пФ	1,2 мГн
2	0,6 мкФ	1,4 мГн
3	12 пФ	1,2 мГн
4	14 пФ	1,4 мГн
5	0,6 мкФ	1,0 мГн

В ответ запишите номера выбранных колебательных контуров.

Ответ:

13 Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить плотность алюминия. Для этого ученик взял стакан с водой и алюминиевый шарик. Какие две позиции из приведённого ниже перечня оборудования необходимо дополнительно использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) электронные весы
- 2) мензурка
- 3) линейка
- 4) термометр
- 5) пружина

В ответ запишите номера выбранного оборудования.

Ответ:

14 Необходимо собрать экспериментальную установку, с помощью которой можно определить сопротивление лампочки. Для этого ученик взял соединительные провода, реостат, ключ, аккумулятор и амперметр. Какие ещё две позиции из приведённого ниже перечня оборудования необходимо использовать для проведения этого эксперимента?

- 1) резистор
- 2) лампочка
- 3) вольтметр

В ответ запишите номера выбранного оборудования.

Ответ:

**ПРИЛОЖЕНИЕ**  
**Десятичные приставки**

Наименование	Обозначение	Множитель	Наименование	Обозначение	Множитель
гига	Г	$10^9$	сантиметры	с	$10^{-2}$
мега	М	$10^6$	милли	м	$10^{-3}$
кило	к	$10^3$	микро	мк	$10^{-6}$
гекто	г	$10^2$	нано	н	$10^{-9}$
деци	д	$10^{-1}$	пико	п	$10^{-12}$

**Константы**

Число $\pi$	$\pi = 3,14$
Ускорение свободного падения на Земле	$g = 10 \text{ м/с}^2$
Гравитационная постоянная	$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$
Универсальная газовая постоянная	$R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Постоянная Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Постоянная Авогадро	$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Скорость света в вакууме	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$
Коэффициент пропорциональности в законе Кулона	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{Кл}^2$
Модуль заряда электрона (элементарный электрический заряд)	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Постоянная Планка	$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$

**Соотношение между различными единицами**

температура	$0 \text{ К} = -273 \text{ }^\circ\text{С}$
атомная единица массы	$1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
1 атомная единица массы эквивалентна	931,5 МэВ
1 электронвольт	$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$

**Масса частиц**

электрона	$9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \approx 5,5 \cdot 10^{-4} \text{ а. е. м.}$
протона	$1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,007 \text{ а. е. м.}$
нейтрона	$1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1,008 \text{ а. е. м.}$

**Плотность**

		подсолнечного масла	900 кг/м <sup>3</sup>
воды	1000 кг/м <sup>3</sup>	алюминия	2700 кг/м <sup>3</sup>
древесины (сосна)	400 кг/м <sup>3</sup>	железа	7800 кг/м <sup>3</sup>
керосина	800 кг/м <sup>3</sup>	ртути	13 600 кг/м <sup>3</sup>

**Удельная теплоёмкость**

воды	$4,2 \cdot 10^3$	Дж/(кг · К)	алюминия	900	Дж/(кг · К)
льда	$2,1 \cdot 10^3$	Дж/(кг · К)	меди	380	Дж/(кг · К)
железа	460	Дж/(кг · К)	чугуна	500	Дж/(кг · К)
свинца	130	Дж/(кг · К)			

**Удельная теплота**

парообразования воды	$2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг
плавления свинца	$2,5 \cdot 10^4$ Дж/кг
плавления льда	$3,3 \cdot 10^5$ Дж/кг

**Нормальные условия:** давление —  $10^5$  Па, температура —  $0^\circ \text{C}$ .

**Молярная масса**

азота	$28 \cdot 10^{-3}$	кг/моль	гелия	$4 \cdot 10^{-3}$	кг/моль
аргона	$40 \cdot 10^{-3}$	кг/моль	кислорода	$32 \cdot 10^{-3}$	кг/моль
водорода	$2 \cdot 10^{-3}$	кг/моль	лития	$6 \cdot 10^{-3}$	кг/моль
воздуха	$29 \cdot 10^{-3}$	кг/моль	неона	$20 \cdot 10^{-3}$	кг/моль
воды	$18 \cdot 10^{-3}$	кг/моль	углекислого газа	$44 \cdot 10^{-3}$	кг/моль

**Желаем успехов в подготовке к ЕГЭ по физике!**

## ОТВЕТЫ К ЗАДАНИЯМ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

### УРОКИ 36—40

#### Задание 13 части 1

Принцип суперпозиции электрических полей

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	влево	вниз	вправо	вверх	вправо	вверх	вправо	вверх

#### Задание 14 части 1

Взаимодействие зарядов. Закон Кулона

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	1,5	2,5	180	20	3,6	6	3	1,5

Электроёмкость конденсатора. Энергия заряженного конденсатора

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	3	2	8	4	4	4	3	1

#### Задание 16 части 1

Задание	1		2		3		4		5		6		7		8	
Ответ	3	4	2	5	2	4	3	5	3	4	1	2	2	3	4	5

#### Задание 17 части 1

Задание	1		2		3		4	
Ответ	1	3	2	3	1	1	1	2

#### Задание 18 части 1

Задание	1		2	
Ответ	А	Б	А	Б
	1	4	2	1

**Задание 26 части 2**

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ответ	3	720	9	250	75	-15	8	0,5	750	2	25	4	3	1	600

**Проверочная работа по теме «Электростатика»**

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Ответ	вниз	вверх	3	4	4	9	4	5	2	4	1	1	400	-2	0,14	1

**УРОКИ 41—45**

**Задание 14 части 1**

Сила тока

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	4	1,5	1	4	0,00125	20	180	450

Закон Ома

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Ответ	250	4	4	2	3	2,5	3	3	30	5	6	2	1	2	3	3,3

Последовательное и параллельное соединение проводников

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ответ	4	4,5	12	8	16	5	14	18	150	2	10	200	1	2	2

Работа и мощность тока. Закон Джоуля—Ленца

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ответ	50	900	360	4,5	5700	2200	600	125	3,6	37,5	2	4

**Задание 16 части 1**

Задание	1	2	3	4	5	6						
Ответ	2	5	1	4	3	4	1	3	3	2	1	5

## Задание 17 части 1

Задание	1		2		3		4		5		6		7		8	
Ответ	2	2	1	3	2	2	3	2	1	1	1	2	1	2	2	1

## Задание 18 части 1

Задание	1		2		3		4		5	
Ответ	A	Б	A	Б	A	Б	A	Б	A	Б
	1	3	1	3	3	4	2	1	2	4

## Задание 26 части 2

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ответ	4,5	18	0,5	8	40	120	2,5	30	2,5	2,2	3	760

## Проверочная работа по теме «Постоянный ток»

Задание	1	2	3	4	5	6	7		8		9		10	
Ответ	0,4	8	2,4	7	15	1500	1	3	2	1	1	1	A	Б
													4	3
Задание	11		12	13	14	15								
Ответ	A	Б	0,5	0,3	0	0,48								
	2	4												

## УРОКИ 46—50

## Задание 15 части 1

Магнитное поле проводника с током

Задание	1		2		3		4	
Ответ	к наблюдателю		от наблюдателя		к наблюдателю		к наблюдателю	
Задание	5		6		7		8	
Ответ	вниз		вверх		к наблюдателю		от наблюдателя	

**Сила Ампера**

Задание	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ответ	к наблюдателю	от наблюдателя	вправо	вниз	влево
Задание	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Ответ	вправо	от наблюдателя	к наблюдателю	от наблюдателя	к наблюдателю
Задание	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>		
Ответ	вниз	вверх	вверх		

**Сила Лоренца**

Задание	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Ответ	к наблюдателю	от наблюдателя	от наблюдателя	от наблюдателя
Задание	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
Ответ	от наблюдателя	вверх	вверх	к наблюдателю
Задание	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	
Ответ	от наблюдателя	вниз	вверх	

**Задание 17 части 1**

Задание	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Ответ	1   3	2   2	1   2	1   2

**Задание 18 части 1**

Задание	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
Ответ	А   Б	А   Б	А   Б	А   Б	А   Б	А   Б
	1   4	2   3	1   2	4   1	2   3	4   2

**Задание 26 части 2**

Задание	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Ответ	10	0,05	0,06	800	8	0,25	2	4	1,5	5

## Проверочная работа по теме «Магнитное поле»

Задание	1	2	3	4	5	6		7	
Ответ	вправо	вправо	вниз	к наблюдателю	вверх	2	1	2	1
Задание	8		9		10	11	12	13	14
Ответ	A	Б	A	Б	0,3125	0,1	3	2	0,2
	4	2	2	3					

## УРОКИ 51—55

## Задание 15 части 1

Поток вектора магнитной индукции

Задание	1	2	3
Ответ	0,06	0,4	0,8

Закон электромагнитной индукции Фарадея. ЭДС индукции в движущихся проводниках

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ответ	5	4	2	32	4	2	4	2	0,25	2

Индуктивность. ЭДС самоиндукции

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	12	6	1	9	6	4	10	6

Энергия магнитного поля катушки с током

Задание	1	2	3	4	5	6
Ответ	1,25	0,9	2	8	5	0,8

Колебательный контур

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ответ	3	2	2	8	2	1	6	2	9	4	4	5	3	2

**Задание 16 части 1**

Задание	1		2		3		4		5		6	
Ответ	3	5	2	4	1	2	3	4	2	3	1	3

**Задание 17 части 1**

Задание	1		2	
Ответ	2	2	1	2

**Задание 18 части 1**

Задание	1		2		3		4		5	
Ответ	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
	2	1	4	3	1	3	1	4	3	2

**Задание 26 части 2**

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ответ	0,01	0,2	3	2	2,5	0,4	2	4	4	200	10	0,25	30	0,4	80

**Проверочная работа по теме «Электромагнитная индукция. Электромагнитные колебания»**

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	
Ответ	0,2	4	1	3	2	4	12	2	0	2	4	2	5
Задание	12		13		14		15	16	17				
Ответ	1	1	А	Б	А	Б	0,5	10	1,6				
			1	3	3	4							

УРОКИ 56—60

**Задание 15 части 1**

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ответ	60	60	70	0,4	70	1,5	1,5	2	1	3	50	30

## Задание 16 части 1

Задание	1		2		3		4		5	
Ответ	3	4	2	3	1	3	4	5	1	4

## Задание 17 части 1

Задание	1		2		3		4		5		6		7		8	
Ответ	1	3	2	3	3	2	3	2	1	3	2	3	3	1	2	2

## Задание 18 части 1

Задание	1		2		3		4	
Ответ	А	Б	А	Б	А	Б	А	Б
	4	1	3	2	4	2	2	1

## Задание 26 части 2

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ответ	1,8	4	2	15	180	2	12,5	6	2,5
Задание	10	11	12	13	14	15	16	17	
Ответ	1,89	165	625	720	750	4	3	2	

## Проверочная работа по теме «Оптика»

Задание	1	2	3	4	5	6	7		8		9	
Ответ	50	0,6	200 000	4	9	20	1	2	3	5	3	2
Задание	10		11		12		13		14	15	16	
Ответ	1	3	3	2	А	Б	А	Б	40	1,25	600	
					2	1	3	4				

УРОКИ 61—66

Задание 19 части 1

Задание	1		2		3		4		5		6		7	
Ответ	4	3	8	13	18	18	29	29	11	13	14	16	13	14
Задание	8		9		10		11		12		13		14	
Ответ	19	20	12	13	12	24	84	212	91	233	86	220	5	10
Задание	15		16		17									
Ответ	99	253	0	1	4	10								

Задание 20 части 1

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ответ	2	0,5	0,5	4000	1	1	1,8	0,3	750	1	2	2
Задание	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ответ	20	10	75	12,5	20	30	25	4	37,2	5	0,1	0,2

Задание 21 части 1

Задание	1		2		3		4		5		6		7		8	
Ответ	2	1	2	2	A	Б	A	Б	A	Б	A	Б	2	3	3	1
					1	4	1	3	3	2	2	3				
Задание	9		10		11		12		13		14		15		16	
Ответ	2	1	1	2	1	3	3	2	2	2	3	2	3	1	A	Б
															2	3

Задание 26 части 2

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ответ	$5 \cdot 10^{14}$	600	8,8	4,8	1,2	3	1,8	1,83	0,3	0,41	
Задание	11	12	13	14	15	16	17				
Ответ	1,3	2,7	0,47	0,6	3,5	91	0,1				

## Проверочная работа по разделу «Квантовая физика»

Задание	1		2		3		4		5
Ответ	20	28	30	38	220	86	36	94	2
Задание	6	7	8	9	10	11		12	
Ответ	1	4	4	20	0,3	2	3	1	2
Задание	13		14		15		16	17	18
Ответ	2	1	A	Б	A	Б	4	600	16,4
			2	4	3	1			

## УРОКИ 67—68

## Задание 22

Задание	1	2	3	4	5	6
Ответ	$4,3 \pm 0,1$	$8,50 \pm 0,25$	$37,5 \pm 2,5$	$125 \pm 5$	$23 \pm 1$	$42,0 \pm 0,5$
Задание	7	8	9	10	11	12
Ответ	$180 \pm 5$	$101,9 \pm 2$	$746 \pm 1$	$1010 \pm 0,5$	$1,00 \pm 0,05$	$3,2 \pm 0,1$
Задание	13	14	15	16	17	
Ответ	$0,22 \pm 0,02$	$4,6 \pm 0,2$	$0,40 \pm 0,05$	$0,100 \pm 0,002$	$2,10 \pm 0,05$	

## Задание 23

Задание	1	2	3	4	5	6	7	8
Ответ	3   4	2   4	1   5	1   2	3   4	2   4	1   2	2   5
Задание	9	10	11	12	13	14		
Ответ	1   5	2   5	2   4	2   5	1   2	2   3		

## Содержание

### Уроки 36—60. Электродинамика

#### Уроки 36—40. Электростатика

Справочные материалы .....	3
Задания для самостоятельной работы .....	7
Проверочная работа по теме « <b>Электростатика</b> » .....	20

#### Уроки 41—45. Постоянный ток

Справочные материалы .....	23
Задания для самостоятельной работы .....	26
Проверочная работа по теме « <b>Постоянный ток</b> » .....	46

#### Уроки 46—50. Магнитное поле

Справочные материалы .....	50
Задания для самостоятельной работы .....	52
Проверочная работа по теме « <b>Магнитное поле</b> » .....	66

#### Уроки 51—55. Электромагнитная индукция и электромагнитные колебания

Справочные материалы .....	69
Задания для самостоятельной работы .....	71
Проверочная работа по теме « <b>Электромагнитная индукция. Электромагнитные колебания</b> » .....	88

#### Уроки 56—60. Электромагнитные волны. Оптика

Справочные материалы .....	92
Задания для самостоятельной работы .....	96
Проверочная работа по теме « <b>Оптика</b> » .....	110

### Уроки 61—66. Квантовая физика

#### Уроки 61—66. Квантовая физика

Справочные материалы .....	114
Задания для самостоятельной работы .....	117
Проверочная работа по разделу « <b>Квантовая физика</b> » .....	135

#### Уроки 67—68. Задания 22 и 23 по проверке методологических умений 140

Приложение .....	150
Ответы к заданиям для самостоятельной работы .....	152