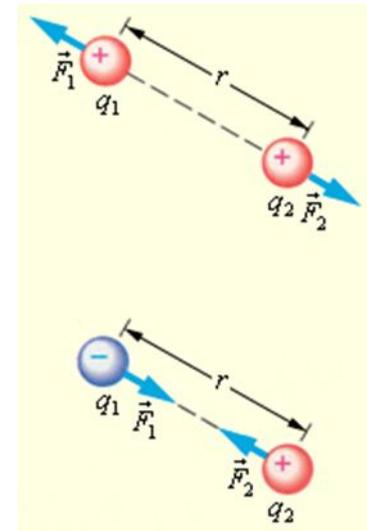


Электродинамика

- Подобно понятию гравитационной массы тела в механике Ньютона, понятие заряда в электродинамике является первичным, **основным понятием.**
- Электрический заряд – это физическая величина, характеризующая свойство частиц или тел вступать в электромагнитные силовые взаимодействия.
- Электрический заряд обычно обозначается буквами q или Q .

•Совокупность всех известных экспериментальных фактов позволяет сделать следующие выводы:

- Существует два рода электрических зарядов, условно названных положительными и отрицательными.
- Заряды могут передаваться (например, при непосредственном контакте) от одного тела к другому. В отличие от массы тела электрический заряд не является неотъемлемой характеристикой данного тела. Одно и то же тело в разных условиях может иметь разный заряд.
- Одноименные заряды отталкиваются, разноименные – притягиваются. В этом также проявляется принципиальное отличие электромагнитных сил от гравитационных. Гравитационные силы всегда являются силами притяжения.



- Одним из фундаментальных законов природы является экспериментально установленный закон сохранения электрического заряда.
- В изолированной системе алгебраическая сумма зарядов всех тел остается постоянной:
- $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$
- Закон сохранения электрического заряда утверждает, что в замкнутой системе тел не могут наблюдаться процессы рождения или исчезновения зарядов только одного знака.

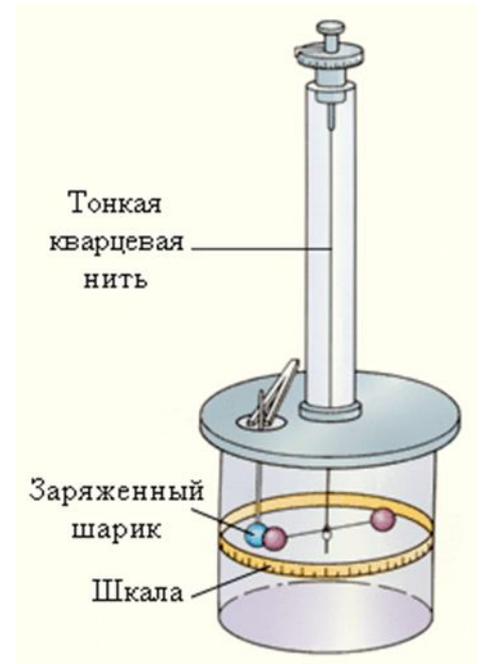
Закон Кулона

- ***Точечным зарядом*** называют заряженное тело, размерами которого в условиях данной задачи можно пренебречь.
- Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Она является силой притяжения, если знаки зарядов разные, и силой отталкивания, если эти знаки одинаковы.

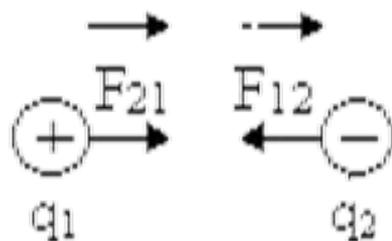
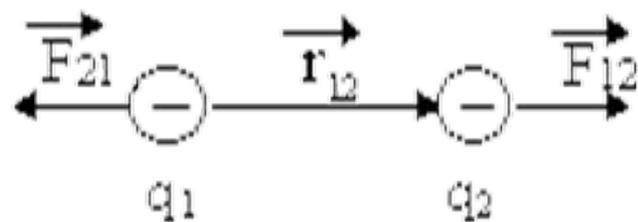
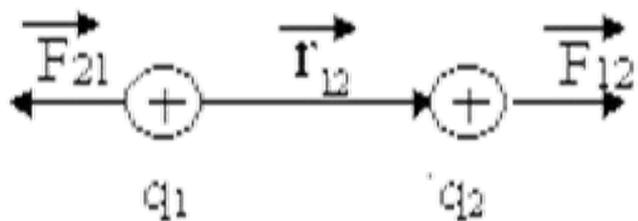
Важно отметить, что для того, чтобы закон был верен, необходимы:

1. Точечность зарядов, то есть расстояние между заряженными телами должно быть много больше их размеров. Впрочем, можно доказать, что сила взаимодействия двух объёмно распределённых зарядов со сферически симметричными непересекающимися пространственными распределениями равна силе взаимодействия двух эквивалентных точечных зарядов, размещённых в центрах сферической симметрии;
2. Их неподвижность. Иначе вступают в силу дополнительные эффекты: [магнитное поле](#) движущегося заряда и соответствующая ему дополнительная [сила Лоренца](#), действующая на другой движущийся заряд;
3. Расположение зарядов в [вакууме](#)

- На основании многочисленных опытов Кулон установил следующий закон:
- Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:



$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$



$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

- Закон Кулона справедлив для точечных заряженных тел. Практически закон Кулона хорошо выполняется, если размеры заряженных тел много меньше расстояния между ними.
- Коэффициент пропорциональности k в законе Кулона зависит от выбора системы единиц. В Международной системе СИ за единицу заряда принят **кулон** (Кл).
- **Кулон** – это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А. Единица силы тока ([ампер](#)) в СИ является наряду с единицами длины, времени и массы **основной единицей измерения**.

Коэффициент k в системе СИ обычно записывают в виде:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

где $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ - *электрическая постоянная*.

В системе СИ элементарный заряд e равен:

$$e = 1,602177 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}.$$

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

- **ДИЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ**
ПРОНИЦАЕМОСТЬ — величина ϵ ,
показывающая, во сколько раз сила
взаимодействия двух электрических
зарядов в среде меньше, чем в вакууме.

Закон Кулона в вакууме

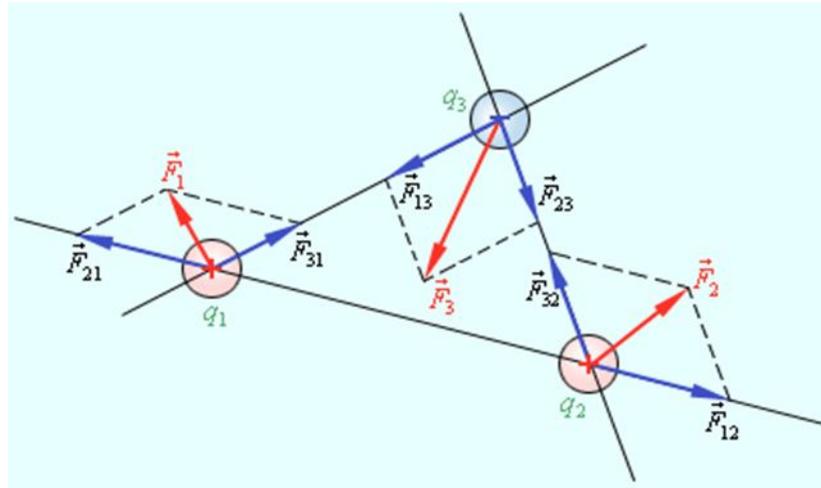
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Закон Кулона в среде

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

- Опыт показывает, что силы кулоновского взаимодействия подчиняются [принципу суперпозиции](#).
- **Если заряженное тело взаимодействует одновременно с несколькими заряженными телами, то результирующая сила, действующая на данное тело, равна векторной сумме сил, действующих на это тело со стороны всех других заряженных тел.**

Рис. поясняет принцип суперпозиции на примере электростатического взаимодействия трех заряженных тел.



$$\vec{F}_1 = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{31};$$

$$\vec{F}_2 = \vec{F}_{12} + \vec{F}_{32};$$

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23};$$

- Историческая справка(о пользе публикаций).
- Закон Кулона был открыт Кавендишем в 1771 году. В 1785 году Кулон вновь открыл закон своего имени, и лишь в 1879 году Максвелл - первый директор Кавендишской лаборатории нашел в архивах и опубликовал рукопись Кавендиша. «Что касается скрытности Кавендиша, то она совершенно непростительна. Это грех». (Хевисайд). Этот «грех» стоил Кавендишу славы первооткрывателя.

Задание 15 № 1332. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных заряженных тел при увеличении расстояния между ними в 3 раза и увеличении заряда одного из тел в 3 раза?

- 1) увеличится в 27 раз
- 2) увеличится в 9 раз
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 3 раза

Задание 15 № 1332. Как изменится сила кулоновского взаимодействия двух точечных заряженных тел при увеличении расстояния между ними в 3 раза и увеличении заряда одного из тел в 3 раза?

- 1) увеличится в 27 раз
- 2) увеличится в 9 раз
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 3 раза

Решение.

Согласно закону Кулона, сила взаимодействия электрических зарядов прямо пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между

ними: $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$. Таким образом, увеличение расстояния между зарядами в 3 раза и увеличение одного из них в 3 раза приведет к уменьшению силы взаимодействия в 3 раза.

Правильный ответ: 4.

Задание 15 № 1325. Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами уменьшили в 2 раза, и оба заряда перенесли из вакуума в среду с диэлектрической проницаемостью 2. Сила взаимодействия между зарядами

- 1) увеличилась в 2 раза
- 2) увеличилась в 4 раз
- 3) увеличилась в 8 раз
- 4) не изменилась

Задание 15 № 1325. Расстояние между двумя точечными электрическими зарядами уменьшили в 2 раза, и оба заряда перенесли из вакуума в среду с диэлектрической проницаемостью 2. Сила взаимодействия между зарядами

- 1) увеличилась в 2 раза
- 2) увеличилась в 4 раз
- 3) увеличилась в 8 раз
- 4) не изменилась

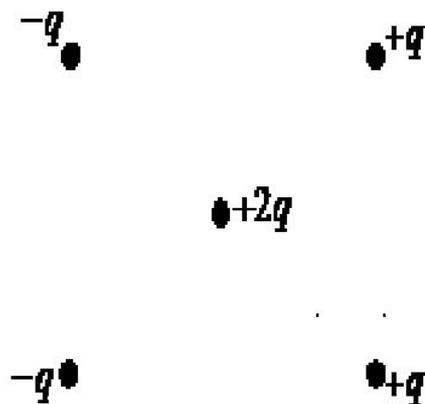
Решение.

Согласно закону Кулона, сила взаимодействия электрических зарядов обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, а при перемещении зарядов из вакуума в среду с диэлектрической проницаемостью ϵ сила взаимодействия ослабевает в ϵ раз:

$$F = \frac{kq_1q_2}{\epsilon r^2}$$
 Таким образом, уменьшение расстояния между зарядами в 2 раза и перемещение их из вакуума в среду с диэлектрической проницаемостью 2 приведет к увеличению силы взаимодействия в 2 раз.

Правильный ответ: 1.

Задание 15 № 1308. Как направлена кулоновская сила F , действующая на положительный точечный заряд $2q$, помещенный в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды $+q, +q, -q, -q$?



- 1) \rightarrow
- 2) \leftarrow
- 3) \uparrow
- 4) \downarrow

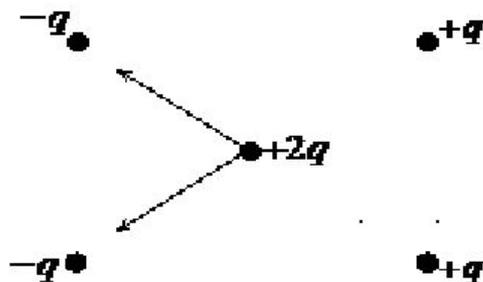
Задание 15 № 1308. Как направлена кулоновская сила F , действующая на положительный точечный заряд $2q$, помещенный в центр квадрата, в вершинах которого находятся заряды $+q, +q, -q, -q$?



- 1) \rightarrow
- 2) \leftarrow
- 3) \uparrow
- 4) \downarrow

Решение.

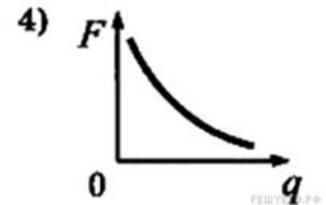
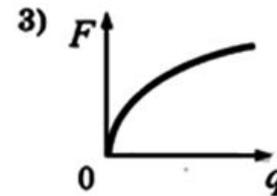
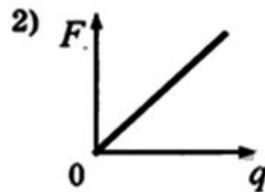
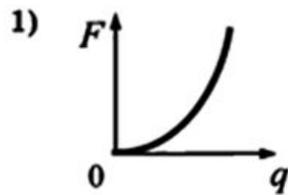
В силу закона Кулона, модули сил взаимодействия заряда $2q$ с зарядами в вершинах квадрата одинаковы (все заряды в вершинах имеют одинаковую по модулю величину, заряд $2q$ расположен в центре квадрата). Направления сил указано на рисунке: одноименно заряженные тела отталкиваются, разноименно заряженные — притягиваются.



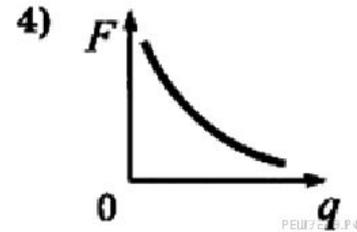
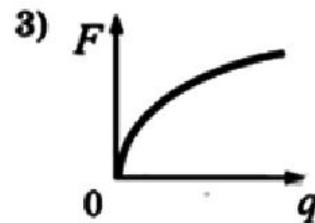
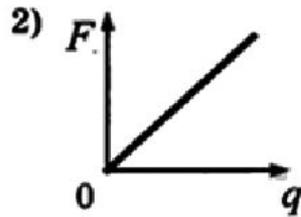
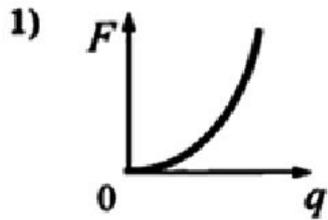
Правильное направление равнодействующей кулоновских сил указано в пункте 2.
 Правильный ответ: 2.

• Какой график соответствует зависимости модуля сил взаимодействия F двух точечных зарядов от модуля одного из зарядов q при неизменном расстоянии между ними?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



Задание 15 № 3375. Какой график соответствует зависимости модуля сил взаимодействия F двух точечных зарядов от модуля одного из зарядов q при неизменном расстоянии между ними?

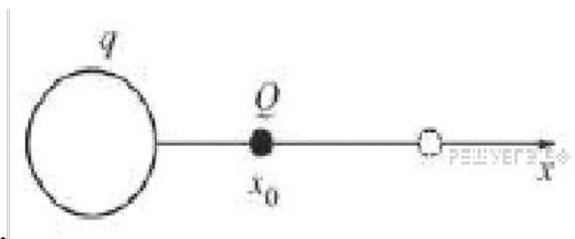


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Решение.

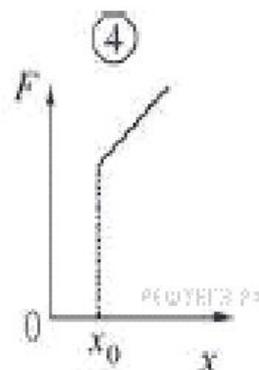
Согласно закону Кулона, сила взаимодействия между двумя точечными зарядами пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между

ними $F = \frac{kqQ}{r^2}$. При фиксированных расстоянии между зарядами и величине второго заряда, сила взаимодействия пропорциональна величине заряда. Правильный график зависимости изображен на рисунке 2.

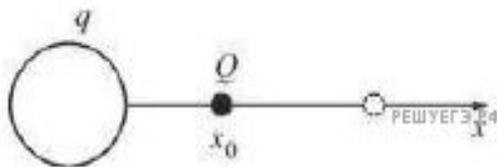


Точечный положительный заряд Q находится на расстоянии x_0 от центра непроводящего шара, равномерно по поверхности заряженного зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать вдоль радиуса шара, удаляя от него.

На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с шаром от расстояния x между зарядом и центром шара?

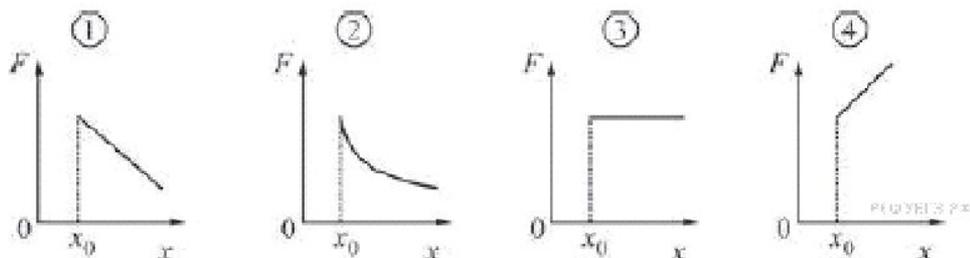


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



Точечный положительный заряд Q находится на расстоянии x_0 от центра непроводящего шара, равномерно по поверхности заряженного зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать вдоль радиуса шара, удаляя от него.

На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с шаром от расстояния x между зарядом и центром шара?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

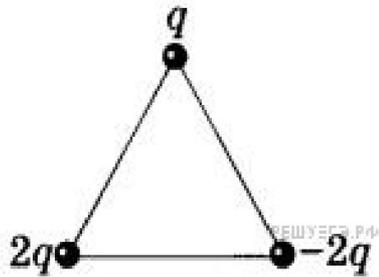
Решение.

Со стороны электрического поля E на заряд Q действует сила $F = QE$.

Равномерно заряженный по поверхности шар создает электрическое поле, как от от точечного заряда, помещенного в его центр: $E = \frac{kq}{r^2}$, следовательно, сила кулоновского взаимодействия

заряда с пластиной зависит от расстояния x между ними по следующему закону: $F = \frac{kqQ}{x^2}$. Правильный график представлен на рисунке 2.

Правильный ответ: 2

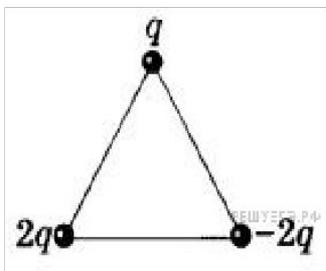


Задание 15 № 3557. В вершинах правильного треугольника расположены точечные заряды $2q, -2q, q$. Сила, действующая на заряд q , направлена:

- 1) вправо
- 2) влево
- 3) вверх

4) вниз

Задание 15 № 3557. В вершинах правильного треугольника расположены точечные заряды $2q, -2q, q$. Сила, действующая на заряд q , направлена:



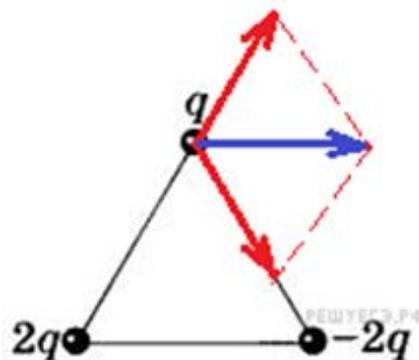
- 1) вправо
- 2) влево
- 3) вверх

4) вниз

Решение.

Согласно закону Кулона, сила взаимодействия двух точечных зарядов прямо пропорциональна произведению величин зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Одноименные заряды отталкиваются, а разноименные притягиваются. Поскольку все заряды находятся в вершинах правильного треугольника, заряд q равноудален от зарядов $2q$ и $-2q$. Следовательно, сила, с которой заряд $2q$ отталкивает заряд q , равна по величине силе, с которой заряд $-2q$ притягивает заряд q . Эти силы обозначены красными стрелками на рисунке. Результирующая этих сил изображена синей стрелкой. Из рисунка ясно, что результирующая направлена направо.

Правильный ответ: 1.



Задание 15 № 6269. На двух одинаковых по длине шёлковых нитях, закреплённых в одной точке, подвешены два одинаковых шарика, заряженных одноимённым зарядом. Заряд первого шарика в 2 раза больше заряда второго. Какое из утверждений правильно?

- 1) Угол отклонения нити первого шарика в 2 раза меньше угла отклонения второго.
- 2) Угол отклонения нити первого шарика в 2 раза больше угла отклонения второго.
- 3) Угол отклонения нити первого шарика в 4 раза больше угла отклонения второго.
- 4) Углы отклонения нитей шариков одинаковы

Задание 15 № 6269. На двух одинаковых по длине шёлковых нитях, закреплённых в одной точке, подвешены два одинаковых шарика, заряженных одноимённым зарядом. Заряд первого шарика в 2 раза больше заряда второго. Какое из утверждений правильно?

- 1) Угол отклонения нити первого шарика в 2 раза меньше угла отклонения второго.
- 2) Угол отклонения нити первого шарика в 2 раза больше угла отклонения второго.
- 3) Угол отклонения нити первого шарика в 4 раза больше угла отклонения второго.
- 4) Углы отклонения нитей шариков одинаковы

Решение.

На шарики будут действовать сила тяжести, направленная вниз, кулоновская сила отталкивания, а также сила натяжения со стороны нити. Кулоновские силы равны, силы отталкивания в силу третьего закона Ньютона также равны. Следовательно, углы отклонения шариков одинаковы.

Правильный ответ указан под номером: 4.

- Электрическое поле, окружающее заряженное тело, можно исследовать с помощью так называемого **пробного заряда** – небольшого по величине точечного заряда, который не производит заметного перераспределения исследуемых зарядов.
- Для количественного определения электрического поля вводится **силовая характеристика напряженность электрического**

- **Напряженностью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине этого заряда:**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_E}{q}$$

- Напряженность электрического поля – векторная физическая величина. Направление вектора в каждой точке пространства совпадает с направлением силы, действующей на положительный пробный заряд.



- Электрическое поле неподвижных и не меняющихся со временем зарядов называется электростатическим. Во многих случаях для краткости это поле обозначают общим термином – электрическое поле

- **Напряженность**- силовая характеристика электрического поля
- **Напряженность электрического поля** в данной точке численно равна силе, с которой поле действует на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку

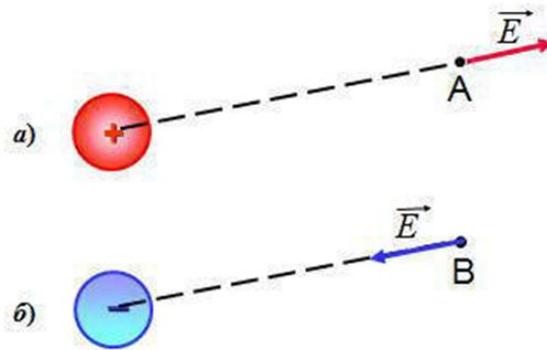
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

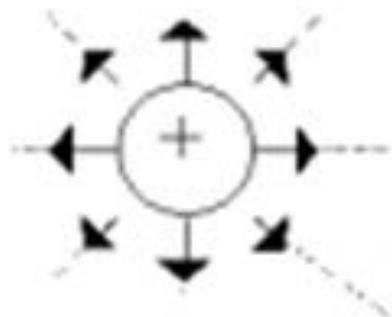
- **Единица измерения:**
- **Напряженность поля точечного заряда:**

$$\frac{Н}{Кл}; \frac{В}{м}$$

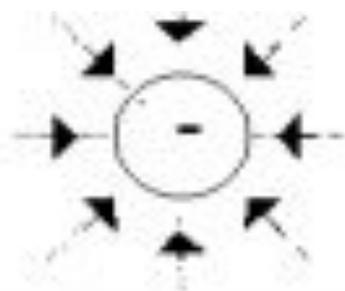
$$E = \frac{k \cdot |q|}{r^2}$$

- Напряженность не зависит от величины заряда, помещенного в поле.
- Вектор напряженности направлен от положительного заряда и к отрицательному.

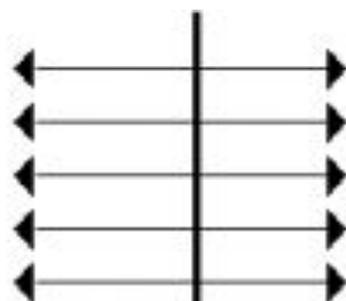




Положительный заряд



Отрицательный заряд



Бесконечная заряженная
плоскость

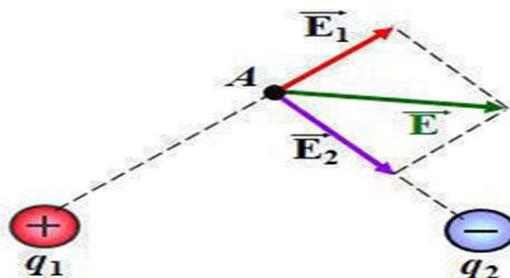
- Если с помощью пробного заряда исследуется электрическое поле, создаваемое несколькими заряженными телами, то результирующая сила оказывается равной геометрической сумме сил, действующих на пробный заряд со стороны каждого заряженного тела в отдельности.

Следовательно, напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке зарядами в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

- Это свойство электрического поля означает, что поле подчиняется принципу суперпозиции.

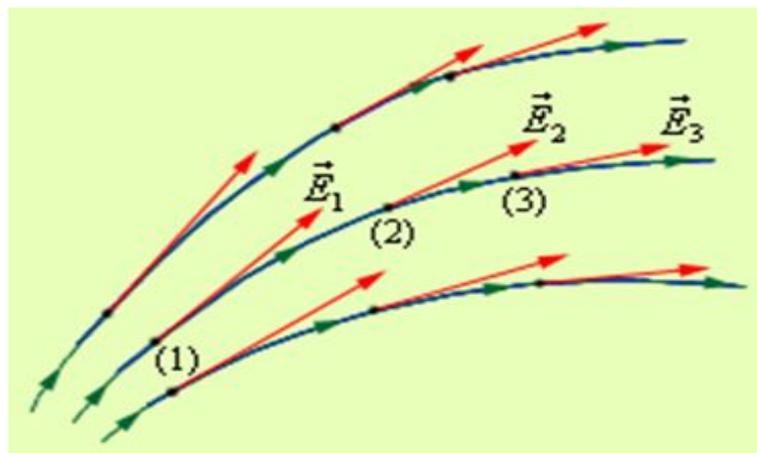
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$



- В с законом Кулона напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него, равна по модулю

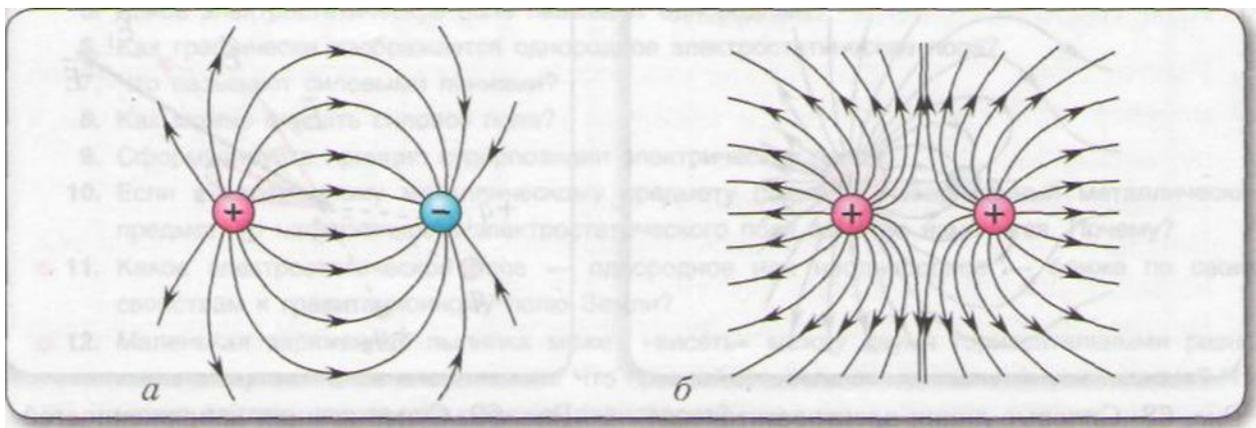
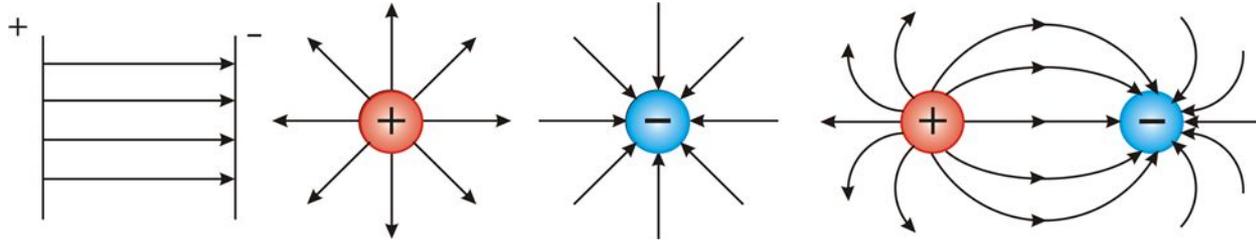
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2}$$

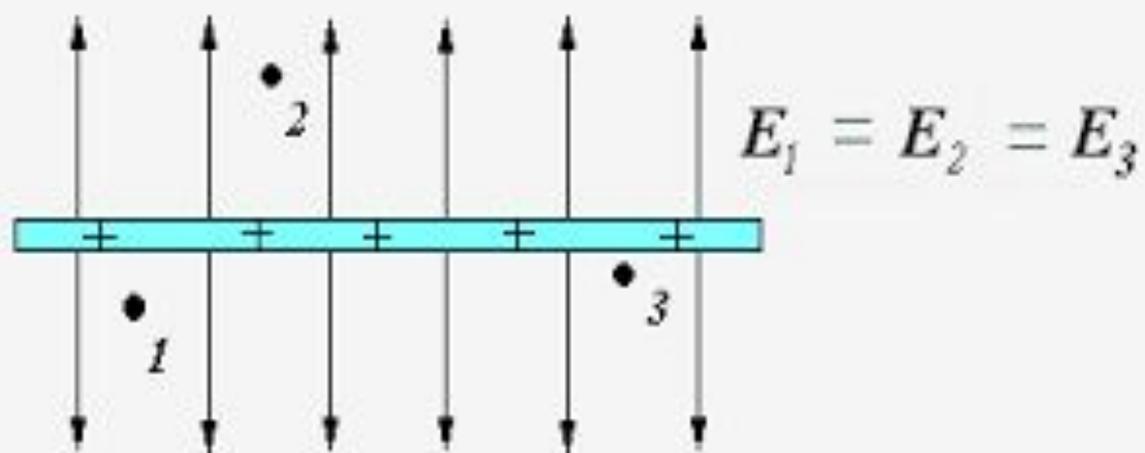
- Для наглядного изображения электрического поля используют силовые линии. Эти линии проводят так, чтобы направление вектора напряженности в каждой точке совпадало с направлением касательной к силовой линии. При изображении электрического поля с помощью силовых линий, их густота должна быть пропорциональна модулю вектора напряженности поля.



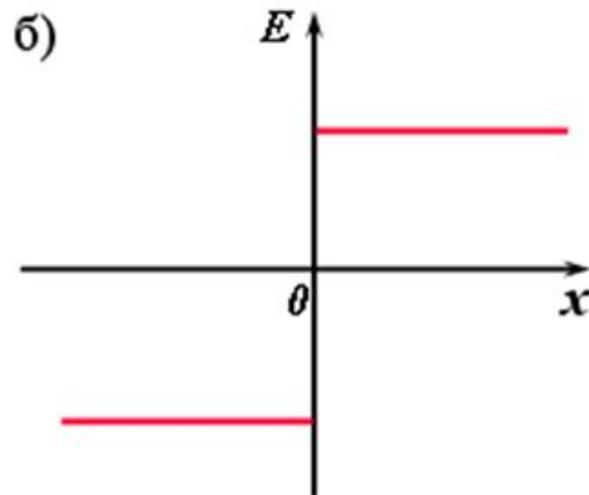
Свойства:

- 1. Начинаются на положительных и заканчиваются на отрицательных зарядах.
- 2. Не пересекаются.
- 3. Густота линий тем больше, чем больше напряженность. Т.е. напряженность поля прямо пропорциональна количеству силовых линий, проходящих через единицу площади поверхности.





Электрическое поле равномерно заряженной плоскости



Закон Кулона в вакууме

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

Закон Кулона в среде

$$F = k \frac{q_1 q_2}{\epsilon r^2} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2}$$

Напряженность электрического поля

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

Напряженность электрического поля точечного заряда в среде

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r^2} = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

•1. Напряженность поля заряженной проводящей сферы радиуса R . Сфера заряжена по поверхности.

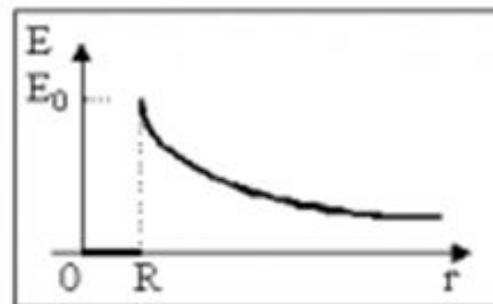
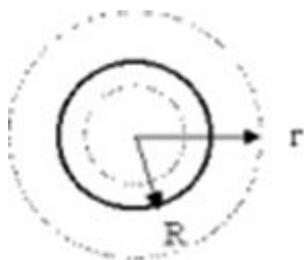
• А) Внутри сферы заряда нет . $\mathbf{E=0}$

• Б) Снаружи сферы.

$$ES = \frac{q}{\epsilon_0} \Rightarrow E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

• В) На поверхности сферы:

$$E_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2}$$



• Напряженность электрического поля измеряют с помощью пробного заряда . Если величину пробного заряда уменьшить в n раз, то модуль напряженности измеряемого поля

- 1) не изменится
- 2) увеличится в n раз
- 3) уменьшится в n раз
- 4) увеличится в n^2 раз

- Напряженность электрического поля измеряют с помощью пробного заряда . Если величину пробного заряда уменьшить в n раз, то модуль напряженности измеряемого поля
 - 1) не изменится
 - 2) увеличится в n раз
 - 3) уменьшится в n раз
 - 4) увеличится в n^2 раз
- Решение.** Сила, с которой электрическое поле действует на пробный электрический заряд пропорциональна величине этого заряда, поэтому величина напряженности электрического поля не зависит от величины пробного заряда .

• Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд увеличить в 2 раза, а напряжённость поля уменьшить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) не изменится
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 2 раза

Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд увеличить в 2 раза, а напряжённость поля уменьшить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) не изменится
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 2 раза

Решение.

На заряженную частицу в электрическом поле действует сила $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}$. Поскольку силой тяжести можно пренебречь, ускорение пылинке сообщает только электрическое поле: $\vec{F}_{\text{эл}} = m\vec{a}$. Следовательно, при увеличении заряда пылинки в 2 раза и уменьшении напряженности электрического поля в 2 раза, ускорение пылинки не изменится.

Правильный ответ: 2

• Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если и заряд пылинки, и напряжённость поля увеличить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 4 раза
- 3) не изменится
- 4) увеличится в 4 раза

Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если и заряд пылинки, и напряжённость поля увеличить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

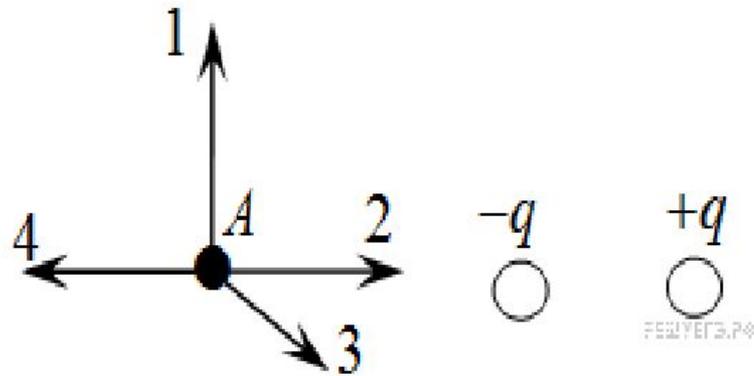
- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 4 раза
- 3) не изменится
- 4) увеличится в 4 раза

Решение.

На заряженную частицу в электрическом поле действует сила $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}$. Поскольку силой тяжести можно пренебречь, ускорение пылинке сообщает только электрическое поле: $\vec{F}_{\text{эл}} = m\vec{a}$. Следовательно, при увеличении заряда пылинки в 2 раза и увеличении напряжённости электрического поля в 2 раза, ускорение пылинки увеличится в 4 раза.

Правильный ответ: 4

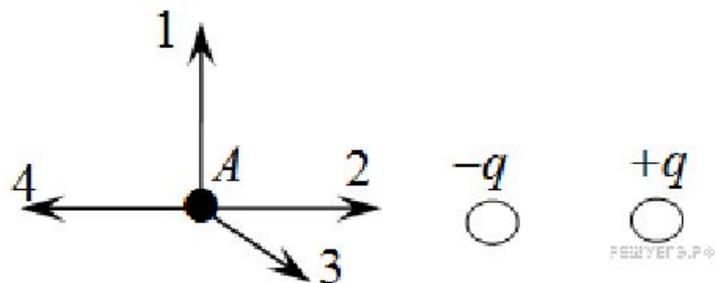
На рисунке представлено расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов $-q$ и $+q$ ($q > 0$).



Направлению вектора напряженности электрического поля этих зарядов в точке A соответствует стрелка

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

На рисунке представлено расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов $-q$ и $+q$ ($q > 0$).



Направлению вектора напряженности электрического поля этих зарядов в точке A соответствует стрелка

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

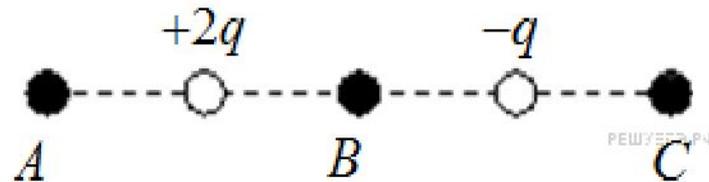
Решение.

По принципу суперпозиции, напряженность поля в точке A есть сумма напряженностей полей, создаваемых зарядами $-q$ и $+q$ по отдельности. Поле отрицательного точечного заряда направлено к заряду, а поле, создаваемое положительным зарядом, — от заряда. Таким образом, напряженности полей зарядов направлены в точке A в разные стороны. Поле точечного заряда ослабевает с

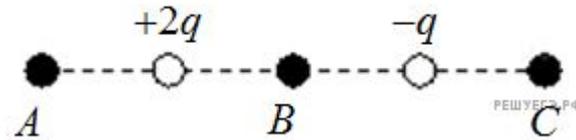
расстоянием как $\frac{1}{r^2}$, заряды по величине одинаковые, поэтому поле от отрицательного заряда в точке A сильнее, чем поле от положительного заряда. Следовательно, направлению напряженности электрического поля в точке A соответствует стрелка 2.

Правильный ответ: 2.

На рисунке показано расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов $+2q$ и $-q$. В какой из трех точек — A , B или C — модуль вектора напряженности суммарного электрического поля этих зарядов максимален?

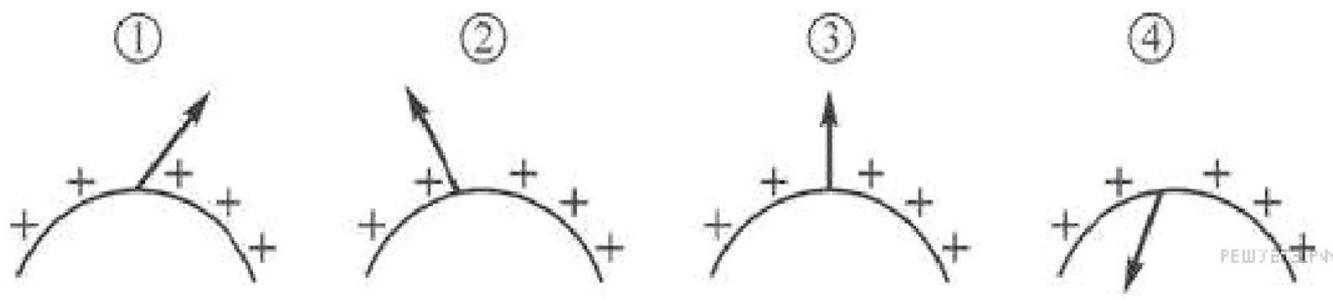


- 1) в точке A
- 2) в точке B
- 3) в точке C
- 4) во всех трех точках модуль напряженности поля имеет одинаковые значения



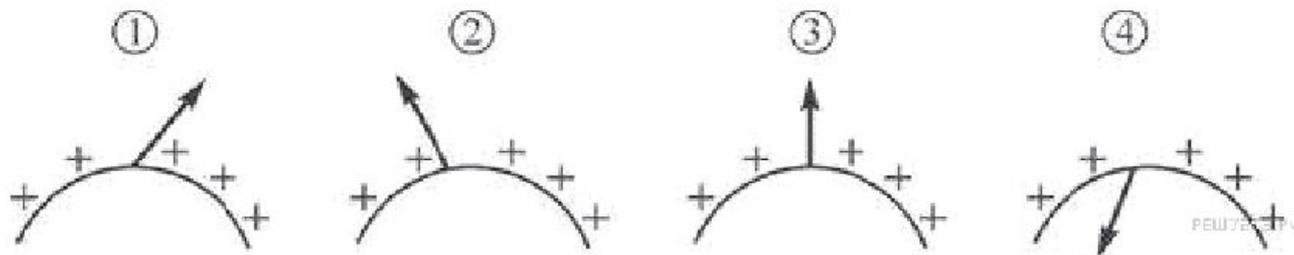
- На рисунке показано расположение двух неподвижных точечных электрических зарядов и . В какой из трех точек — A , B или C — модуль вектора напряженности суммарного электрического поля этих зарядов максимален?
 - 1) в точке A
 - 2) в точке B
 - 3) в точке C
 - 4) во всех трех точках модуль напряженности поля имеет одинаковые значения
- **Решение.** Поле отрицательного точечного заряда направлено к заряду, а поле, создаваемое положительным зарядом, — от заряда. Следовательно, в точках A и C поля направлены в разные стороны, а в точке B сонаправлены. Поле точечного заряда по модулю пропорционально величине заряда и обратно пропорционально квадрату расстояния до него: . Таким образом, модуль вектора напряженности суммарного электрического поля этих зарядов максимален в точке B .
- Правильный ответ: 2.

Металлическое тело заряжено положительным электрическим зарядом. На каком рисунке правильно показано направление вектора напряжённости электростатического поля вблизи поверхности проводника снаружи от тела?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Металлическое тело заряжено положительным электрическим зарядом. На каком рисунке правильно показано направление вектора напряжённости электростатического поля вблизи поверхности проводника снаружи от тела?



- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

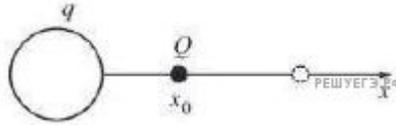
Решение.

Электростатическое поле всегда перпендикулярно поверхности проводника. Доказать это очень легко.

Действительно, предположим, что у электростатического поля может быть касательная к поверхности проводника компонента. Раз мы обсуждаем сейчас электростатику, все заряды должны быть неподвижны, никаких электрических токов быть не должно. Покажем, что наше предположение приводит к противоречию. В проводнике есть свободные заряды. Наличие касательной компоненты означает наличие электрического поля вдоль проводника, такое поле всегда вызывает течение электрических зарядов, а тем самым ток, которого у нас в электростатике быть не должно. Вот и все доказательство. Физически это означает следующее, свободные заряды в проводнике всегда перераспределяются таким образом, чтобы проводник стал эквипотенциальным телом.

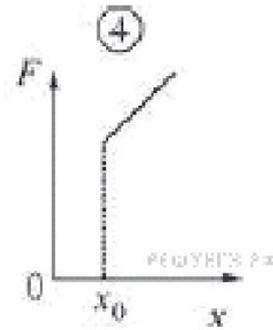
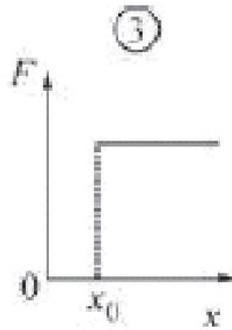
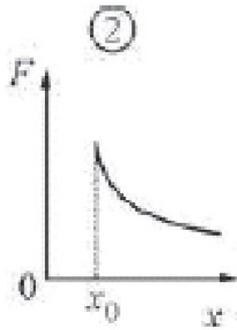
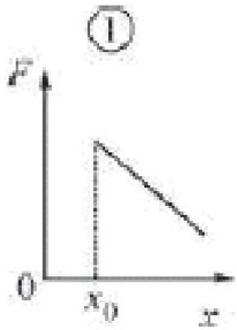
Таким образом, направление вектора напряжённости электростатического поля вблизи поверхности проводника снаружи от тела верно показано на рисунке 3.

Правильный ответ: 3.

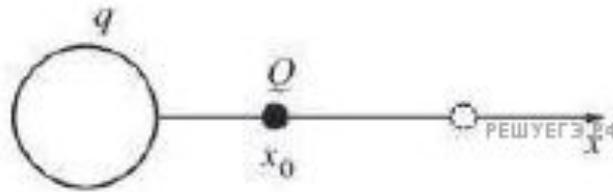


Точечный положительный заряд Q находится на расстоянии x_0 от центра непроводящего шара, равномерно по поверхности заряженного зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать вдоль радиуса шара, удаляя от него.

На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с шаром от расстояния x между зарядом и центром шара?

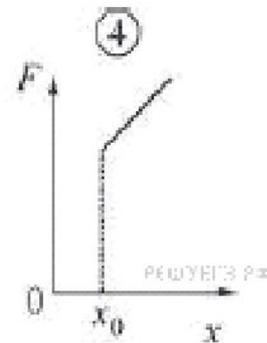
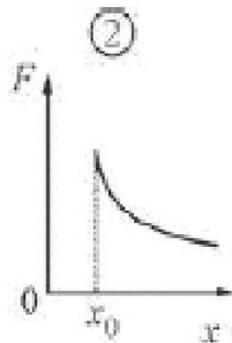


- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

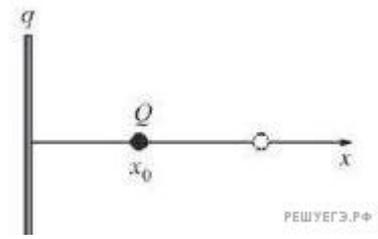


Точечный положительный заряд Q находится на расстоянии x_0 от центра непроводящего шара, равномерно по поверхности заряженного зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать вдоль радиуса шара, удаляя от него.

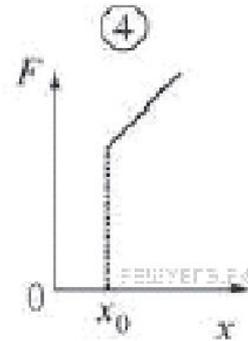
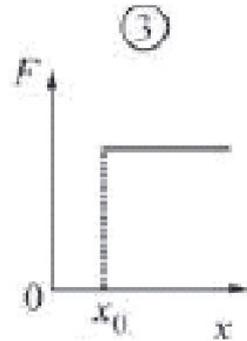
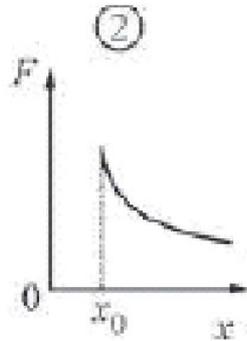
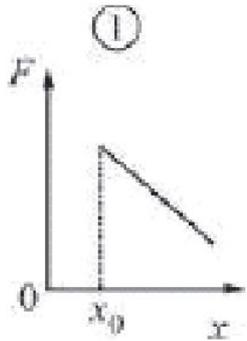
На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с шаром от расстояния x между зарядом и центром шара?



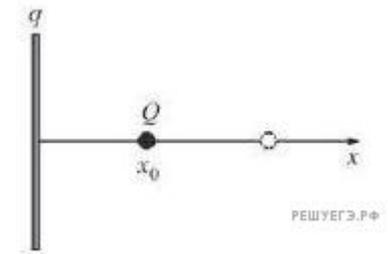
- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



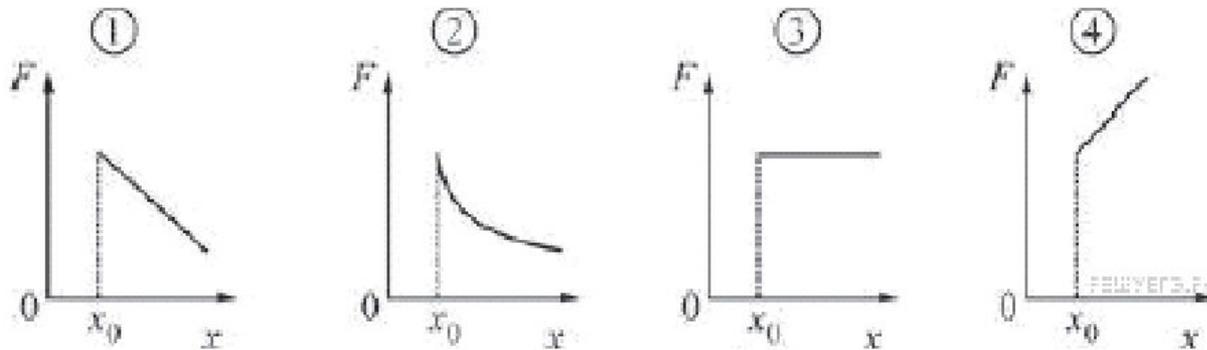
Точечный положительный заряд Q находится на небольшом расстоянии x_0 от протяжённой непроводящей заряженной пластины, равномерно заряженной зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать перпендикулярно пластине, удаляя от неё. На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с пластиной от расстояния x между зарядом и пластиной?



- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4



Точечный положительный заряд Q находится на небольшом расстоянии x_0 от протяжённой непроводящей заряженной пластины, равномерно заряженной зарядом q (см. рисунок). Заряд Q начинают перемещать перпендикулярно пластине, удаляя от неё. На каком из приведённых ниже графиков правильно изображена зависимость силы F кулоновского взаимодействия заряда Q с пластиной от расстояния x между зарядом и пластиной?



- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

Решение.

Со стороны электрического поля E на заряд Q действует сила $F = QE$.

Равномерно заряженная протяжённая пластина создает однородное электрическое поле $E = \text{const}$, следовательно, сила кулоновского взаимодействия заряда с пластиной не зависит от расстояния x между ними. Правильный график представлен на рисунке 3.

Правильный ответ: 3

Четыре равных по модулю электрических заряда расположены в вершинах квадрата (см. рисунок).

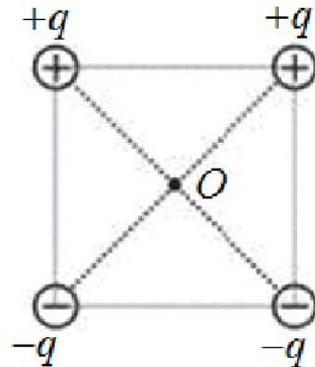


Рис. А

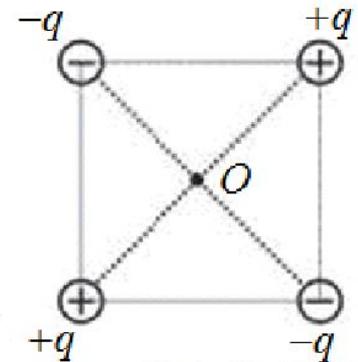


Рис. Б

Напряжённость электростатического поля, созданного этими зарядами в точке O ,

- 1) равна нулю только в случае, изображённом на рис. А
- 2) равна нулю только в случае, изображённом на рис. Б
- 3) равна нулю в случаях, изображённых на обоих рисунках
- 4) не равна нулю ни в одном из случаев, изображённых на рисунках

Задание 15 № 3877. Четыре равных по модулю электрических заряда расположены в вершинах квадрата (см. рисунок).

Напряжённость электростатического поля, созданного этими зарядами в точке O ,

- 1) равна нулю только в случае, изображённом на рис. А
- 2) равна нулю только в случае, изображённом на рис. Б
- 3) равна нулю в случаях, изображённых на обоих рисунках
- 4) не равна нулю ни в одном из случаев, изображённых на рисунках

Решение.

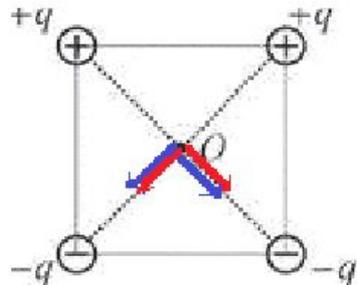


рис. А

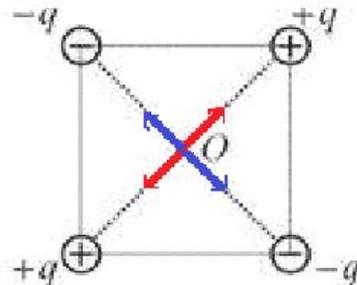
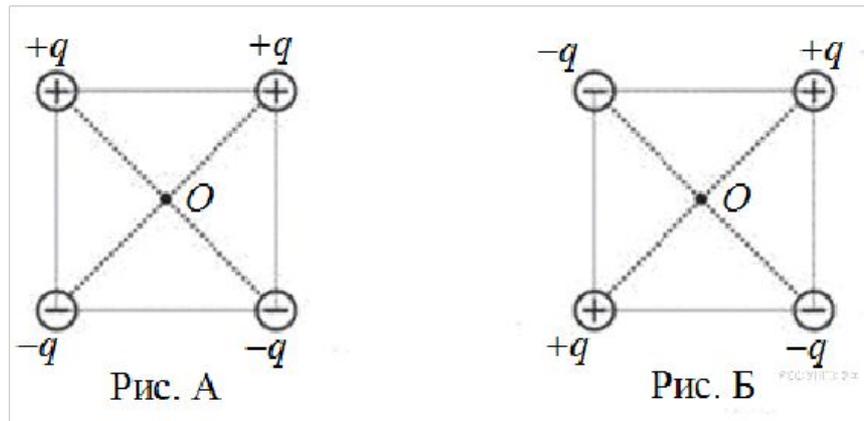


рис. Б



Напряженность электрического поля, создаваемого точечным зарядом, пропорциональна величине этого заряда, обратно пропорциональна квадрату расстояния до заряда, направлена "от" положительного и "к" отрицательному заряду. Полное поле получается в результате суперпозиции полей от всех зарядов. Векторы напряженности полей, создаваемых всеми зарядами в точке O , показаны для обоих случаев на рисунке (красные стрелки обозначают поля от положительных зарядов, синие — от отрицательных). Ясно, что напряженность поля равна нулю только в случае Б.

Правильный ответ: 2.

Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд увеличить в 2 раза, а напряжённость поля уменьшить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) не изменится
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 2 раза

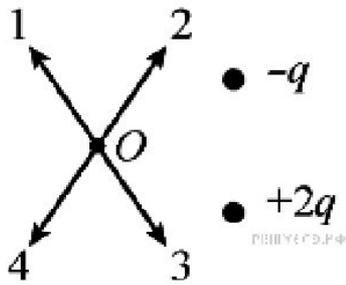
Как изменится ускорение заряженной пылинки, движущейся в электрическом поле, если её заряд увеличить в 2 раза, а напряжённость поля уменьшить в 2 раза? Силу тяжести не учитывать.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) не изменится
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 2 раза

Решение.

На заряженную частицу в электрическом поле действует сила $\vec{F}_{\text{эл}} = q\vec{E}$. Поскольку силой тяжести можно пренебречь, ускорение пылинке сообщает только электрическое поле: $\vec{F}_{\text{эл}} = m\vec{a}$. Следовательно, при увеличении заряда пылинки в 2 раза и уменьшении напряженности электрического поля в 2 раза, ускорение пылинки не изменится.

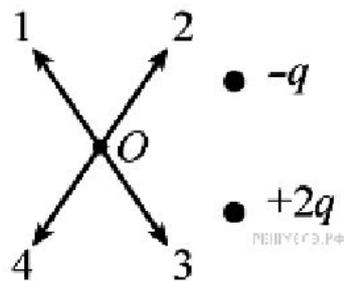
Правильный ответ: 2



По какой из стрелок 1–4 направлен вектор напряжённости электрического

поля \vec{E} созданного двумя разноимёнными неподвижными точечными зарядами в точке O (см. рисунок, $q > 0$)? Точка O равноудалена от зарядов.

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



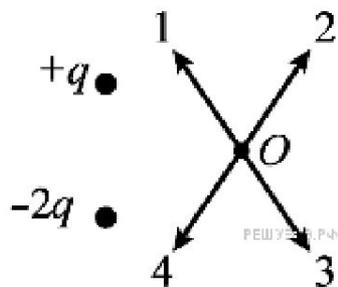
По какой из стрелок 1–4 направлен вектор напряжённости электрического поля \vec{E} созданного двумя разноимёнными неподвижными точечными зарядами в точке O (см. рисунок, $q > 0$)? Точка O равноудалена от зарядов.

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

Решение.

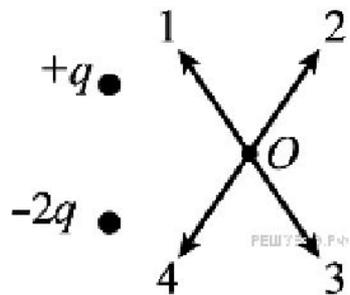
Напряжённость — это сила Кулона, действующая на единичный положительный заряд. Со стороны положительного заряда напряжённость E_1 направлена от заряда (вверх и влево от точки O), а со стороны отрицательного — E_2 — к заряду (вверх и вправо). Модуль E_1 больше модуля E_2 , поэтому суммарная напряжённость будет смещена влево и вверх.

Правильный ответ указан под номером 1.



По какой из стрелок 1–4 направлен вектор напряжённости \vec{E} электрического поля, созданного двумя разноимёнными неподвижными точечными зарядами в точке O (см. рисунок, $q > 0$, точка O равноудалена от зарядов)?

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4



3 По какой из стрелок 1–4 направлен вектор напряжённости \vec{E} электрического поля, созданного двумя разноимёнными неподвижными точечными зарядами в точке O (см. рисунок, $q > 0$, точка O равноудалена от зарядов)?

- 1) 1 2) 2 3) 3 4) 4

Решение.

Напряжённость — это сила Кулона, действующая на единичный положительный заряд. Со стороны положительного заряда напряжённость E_1 направлена от заряда (вниз и вправо от точки O), а со стороны отрицательного — E_2 — к заряду (вниз и влево). Модуль E_1 меньше модуля E_2 , поэтому суммарная напряжённость будет смещена влево и вниз.

Правильный ответ указан под номером 4.

В однородном электрическом поле, вектор напряжённости которого направлен горизонтально, на шёлковых нитях одинаковой длины подвешены два шарика, заряды которых одинаковы. Масса первого шарика больше массы второго. Какое из утверждений правильно?

- 1) Угол отклонения нити первого шарика меньше угла отклонения второго.
- 2) Шарика не отклоняются от вертикали.
- 3) Углы отклонения нитей шариков одинаковы.
- 4) Угол отклонения нити первого шарика больше угла отклонения второго.

В однородном электрическом поле, вектор напряжённости которого направлен горизонтально, на шёлковых нитях одинаковой длины подвешены два шарика, заряды которых одинаковы. Масса первого шарика больше массы второго. Какое из утверждений правильно?

- 1) Угол отклонения нити первого шарика меньше угла отклонения второго.
- 2) Шарика не отклоняются от вертикали.
- 3) Углы отклонения нитей шариков одинаковы.
- 4) Угол отклонения нити первого шарика больше угла отклонения второго.

Решение.

На шарики будут действовать сила тяжести, направленная вниз, сила со стороны электрического поля, направленная горизонтально и сила натяжения нити, направленная по нити. Ясно, что шарики будут отклоняться электрическим полем. В силу того, что масса первого шарика больше массы второго, сила тяжести, действующая на него будет больше, следовательно, угол отклонения первого шарика от вертикали меньше угла отклонения второго.

Правильный ответ указан под номером: 1.

**Потенциал. Разность потенциалов.
Напряжение. Эквипотенциальные
поверхности**

- Потенциал электрического поля это энергетическая характеристика поля. Он представляет собой работу которую нужно совершить против сил электрического поля для того чтобы переместить единичный положительный точечный заряд находящийся на бесконечности в данную точку поля.

Потенциал электростатического поля — скалярная величина, равная отношению потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду

$$\varphi = \frac{W}{q} = \text{const}$$

- Потенциал не зависит от величины заряда, помещенного в это поле.

- Т.к. потенциальная энергия зависит от выбора системы координат, то и потенциал определяется с точностью до постоянной.
- За точку отсчета потенциала выбирают в зависимости от задачи:
 - а) потенциал Земли,
 - б) потенциал бесконечно удаленной точки поля,
 - в) потенциал отрицательной пластины конденсатора.

$$\varphi = \frac{W}{q}$$

- следствие принципа суперпозиции полей (потенциалы складываются алгебраически).

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + \dots$$

- **Потенциал численно равен работе поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки электрического поля в бесконечность.**
- **В СИ потенциал измеряется в вольтах:**

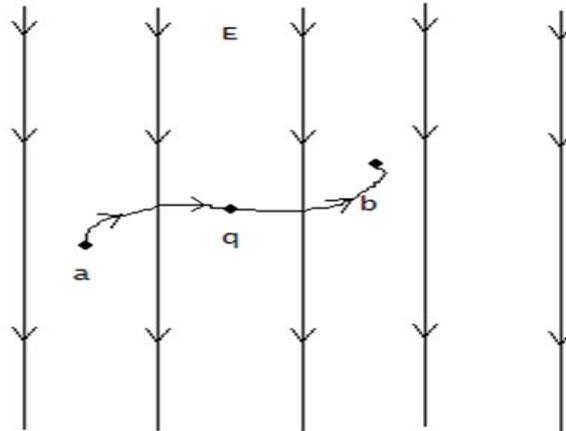
$$1\text{В} = \frac{1\text{ Дж}}{1\text{ Кл}}$$

Разность потенциалов

Работа в электрическом поле

$$\mathbf{A} = -(\mathbf{W}_2 - \mathbf{W}_1) = -(\varphi_2 - \varphi_1)q = -q\Delta\varphi$$

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = -\Delta\varphi = \frac{\mathbf{A}}{q}$$



- **Напряжение** — разность значений потенциала в начальной и конечной точках траектории.
- **Напряжение** численно равно работе электростатического поля при перемещении единичного положительного заряда вдоль силовых линий этого поля.
- Разность потенциалов (напряжение) не зависит от выбора
- системы координат!

$$U = \frac{A}{q}$$

• **Единица разности потенциалов**

$$[U] = \frac{[A]}{[q]} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

• **Напряжение равно 1 В, если при перемещении положительного заряда в 1 Кл вдоль силовых линий поле совершает работу в 1 Дж.**

$$[U] = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{В}$$

Связь между напряженностью и напряжением.

$$A = qE\Delta d$$

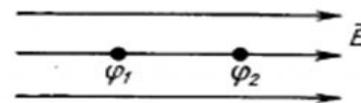
$$A = -q\Delta\varphi = qU \quad E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta d} = \frac{U}{\Delta d}$$

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{U}}{\Delta d}$$

1. Электрическое поле существует, если существует разность потенциалов.

• Единица напряженности: - *Напряженность поля равна 1 В/м, если между двумя точками поля, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга существует разность потенциалов 1 В.*

• Из этого соотношения видно:



1. Вектор напряженности направлен в сторону уменьшения потенциала.

$$[E] = \frac{В}{М}$$

При движении вдоль линии напряженности электростатического поля от начала линии к ее концу потенциал

- 1) возрастает
- 2) убывает
- 3) не изменяется
- 4) может изменяться произвольным образом

При движении вдоль линии напряженности электростатического поля от начала линии к ее концу потенциал

- 1) возрастает
- 2) убывает
- 3) не изменяется
- 4) может изменяться произвольным образом

Решение.

За направление силовой линии электростатического поля выбирается направление силы, действующей со стороны поля на положительный заряд. Напряжением между двумя точками называется работа электрического поля по переносу единичного положительного заряда. Следовательно, между началом и концом силовой линии положительное напряжение (так как поле совершает положительную работу при переносе заряда из начала в конец). А значит, потенциал начала силовой линии больше потенциала конца силовой линии. Таким образом, при движении вдоль линии напряженности электростатического поля от начала линии к ее концу потенциал убывает.

Правильный ответ: 2.

При движении вдоль линии напряженности электростатического поля от конца линии к ее началу потенциал

- 1) возрастает
- 2) убывает
- 3) не изменяется
- 4) может изменяться произвольным образом

При движении вдоль линии напряженности электростатического поля от конца линии к ее началу потенциал

- 1) возрастает
- 2) убывает
- 3) не изменяется
- 4) может изменяться произвольным образом

Решение.

За направление силовой линии электростатического поля выбирается направление силы, действующей со стороны поля на положительный заряд. Напряжением между двумя точками называется работа электрического поля по переносу единичного положительного заряда. Следовательно, между началом и концом силовой линии положительное напряжение (так как поле совершает положительную работу при переносе заряда из начала в конец). А значит, потенциал начала силовой линии больше потенциала конца силовой линии. Таким образом, при движении вдоль линии напряженности электростатического поля от конца линии к ее началу потенциал возрастает.

Правильный ответ: 1

Металлический шар имеет заряд $-Q$. Если сообщить этому шару дополнительный заряд, равный $+\frac{Q}{2}$ то модуль потенциала поверхности шара

- 1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится 4) станет равен нулю

Металлический шар имеет заряд $-Q$. Если сообщить этому шару дополнительный заряд, равный $+\frac{Q}{2}$ то модуль потенциала поверхности шара

- 1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится 4) станет равен нулю

Решение.

Заряд равномерно распределяется по поверхности металлического шара. Модуль потенциала

поверхности шара равен: $\varphi = \frac{kq}{R}$, где q — заряд шара. Таким образом, при сообщении шару дополнительного заряда $\frac{Q}{2}$, модуль его полного заряда уменьшится, а значит, уменьшится и модуль потенциала поверхности.

Правильный ответ: 2

Металлический шар имеет заряд $+Q$. Если сообщить этому шару дополнительный заряд, равный $-\frac{Q}{2}$ то модуль потенциала поверхности шара

- 1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится 4) станет равен нулю

Металлический шар имеет заряд $+Q$. Если сообщить этому шару дополнительный заряд, равный $-\frac{Q}{2}$ то модуль потенциала поверхности шара

- 1) увеличится 2) уменьшится 3) не изменится 4) станет равен нулю

Решение.

Заряд равномерно распределяется по поверхности металлического шара. Модуль потенциала

поверхности шара равен: $\varphi = \frac{kq}{R}$, где q — заряд шара. Таким образом, при сообщении шару дополнительного заряда $-\frac{Q}{2}$, его полный заряд уменьшится, а значит, уменьшится и модуль потенциала поверхности.

Правильный ответ: 2

Возле первой клеммы батарейки нарисован знак «+», а возле второй клеммы — знак «-». Потенциал первой клеммы

1) выше потенциала второй клеммы

2) ниже потенциала второй клеммы

3) равен потенциалу второй клеммы

4) равен нулю

Возле первой клеммы батарейки нарисован знак «+», а возле второй клеммы — знак «-». Потенциал первой клеммы

- 1) выше потенциала второй клеммы
- 2) ниже потенциала второй клеммы
- 3) равен потенциалу второй клеммы
- 4) равен нулю

Решение.

Ток в простой неразветвлённой электрической цепи, состоящей, например, из источника тока и резистора будет протекать от плюса к минусу. Следовательно, потенциал первой клеммы больше потенциала второй.

Правильный ответ указан под номером: 1.

При перемещении точечного заряда $+2$ нКл из точки A с потенциалом 12 В в точку B с потенциалом 8 В потенциальная энергия этого заряда в электростатическом поле

1) увеличивается

2) уменьшается

3) не изменяется

4) может и увеличиваться, и уменьшаться в зависимости от траектории, по которой заряд перемещается из точки A в точку B

При перемещении точечного заряда $+2$ нКл из точки A с потенциалом 12 В в точку B с потенциалом 8 В потенциальная энергия этого заряда в электростатическом поле

- 1) увеличивается
- 2) уменьшается
- 3) не изменяется
- 4) может и увеличиваться, и уменьшаться в зависимости от траектории, по которой заряд перемещается из точки A в точку B

Решение.

Потенциальная энергия заряда q в электростатическом поле в некоторой точке связана с величиной потенциала φ в этой точке соотношением: $W = q\varphi$. Таким образом, изменение потенциальной энергии заряда при перемещении из точки A в точку B равно:

$$\Delta W = W_B - W_A = q\varphi_B - q\varphi_A = q(\varphi_B - \varphi_A) = +2 \text{ нКл} \cdot (8 \text{ В} - 12 \text{ В}) < 0.$$

Следовательно, потенциальная энергия уменьшается.

Правильный ответ: 2.

Модуль напряженности однородного электрического поля равен 100 В/м . Каков модуль разности потенциалов между двумя точками, расположенными на одной силовой линии поля на расстоянии 5 см ?

- 1) 5 В
- 2) 20 В
- 3) 500 В
- 4) $2\,000 \text{ В}$

Модуль напряженности однородного электрического поля равен 100 В/м. Каков модуль разности потенциалов между двумя точками, расположенными на одной силовой линии поля на расстоянии 5 см?

- 1) 5 В
- 2) 20 В
- 3) 500 В
- 4) 2 000 В

Решение.

Модуль разности потенциалов между точками, расположенными на одной силовой линии, связана с расстоянием между этими точками и напряженностью однородного электрического поля соотношением

$$\Delta\varphi = E\Delta x = 100 \text{ В/м} \cdot 0,05 \text{ м} = 5 \text{ В}.$$

Правильный ответ: 1

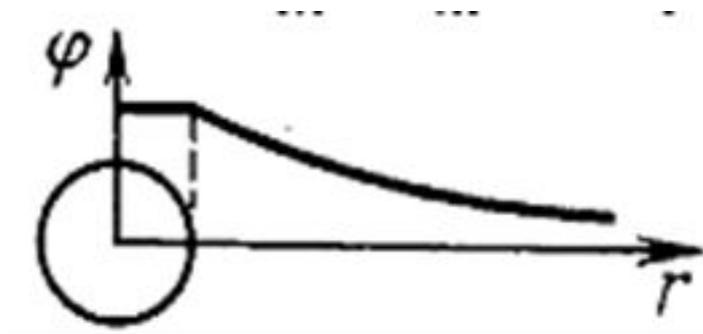
Потенциал точечного заряда

$$\varphi = k \cdot \frac{q}{r}$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r}$$

• *Потенциал заряженного шара*

- а) Внутри шара $E=0$, следовательно, **потенциалы во всех точках внутри заряженного металлического шара одинаковы (!!!) и равны потенциалу на поверхности шара.**
- б) Снаружи поле шара убывает обратно пропорционально расстоянию от центра шара, как и в случае точечного заряда.



$$\varphi = \frac{k \cdot q}{\varepsilon \cdot r}; \Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$$

$$\Delta\varphi = U;$$

U – электрическое
напряжение – [В];

$$U = \frac{A}{q}; U = \Delta\varphi = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} = E \cdot d$$

Какова разность потенциалов между точками поля, если при перемещении заряда 12 мкКл из одной точки в другую электростатическое поле совершает работу $0,36 \text{ мДж}$?

- 1) $0,3 \text{ В}$
- 2) 3 В
- 3) 30 В
- 4) 300 В

Какова разность потенциалов между точками поля, если при перемещении заряда 12 мкКл из одной точки в другую электростатическое поле совершает работу 0,36 мДж?

1) 0,3 В

2) 3 В

3) 30 В

4) 300 В

Решение.

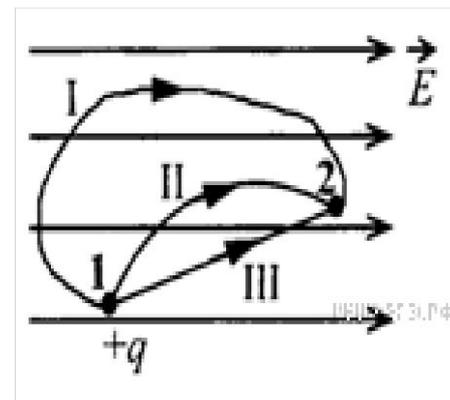
Разность потенциалов представляет собой работу по переносу единичного заряда между точ-

ками поля. Следовательно, разность потенциалов равна $\frac{0,36 \text{ мДж}}{12 \text{ мкКл}} = 30 \text{ В}$.

Правильный ответ: 3.

Положительный заряд перемещается в однородном электростатическом поле из точки 1 в точку 2 по разным траекториям. При перемещении по какой траектории электрическое поле совершает наименьшую работу?

- 1) I
- 2) II
- 3) III
- 4) работа одинакова при движении по всем траекториям



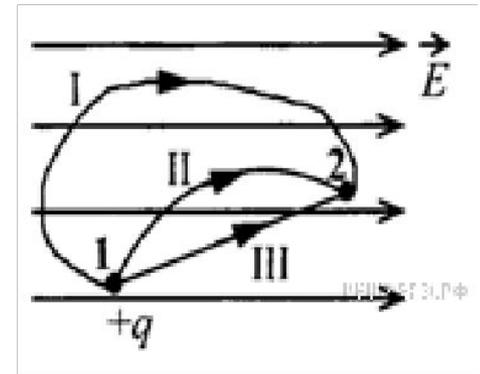
Положительный заряд перемещается в однородном электростатическом поле из точки 1 в точку 2 по разным траекториям. При перемещении по какой траектории электрическое поле совершает наименьшую работу?

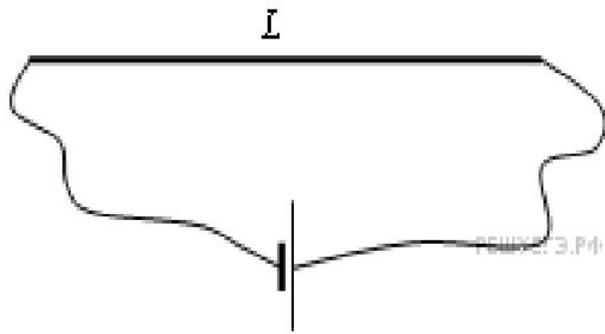
- 1) I
- 2) II
- 3) III
- 4) работа одинакова при движении по всем траекториям

Решение.

Электростатическое поле потенциально. Это значит, что работа электрического поля не зависит от формы траектории и определяется только начальным и конечным положениями заряда.

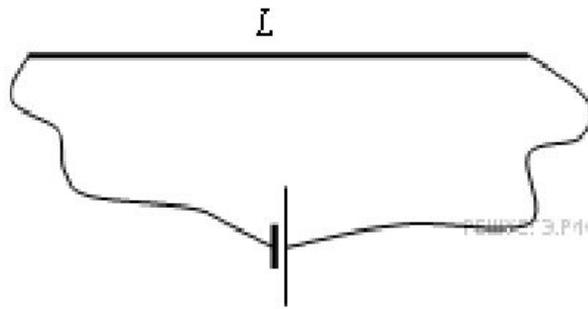
Правильный ответ: 4.





В электрическую цепь включена медная проволока длиной $L = 20$ см. При напряженности электрического поля 50 В/м сила тока в проводнике равна 2 А. К концам проволоки приложено напряжение

- 1) 10 В
- 2) 20 В
- 3) 30 В
- 4) 40 В



В электрическую цепь включена медная проволока длиной $L = 20$ см. При напряженности электрического поля 50 В/м сила тока в проводнике равна 2 А. К концам проволоки приложено напряжение

- 1) 10 В
- 2) 20 В
- 3) 30 В
- 4) 40 В

Решение.

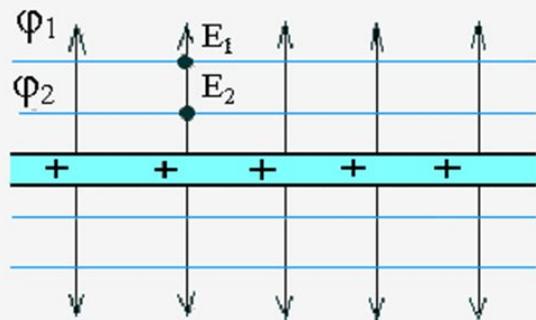
Разность потенциалов (напряжение) между двумя точками в однородном электрическом поле, расстояние между этими точками и напряженность поля связаны соотношением $Ed = U$. Внутри медной проволоки действует однородное электрическое поле, создаваемое источником. Следовательно к концам проволоки приложено напряжение

$$U = 50 \text{ В/м} \cdot 0,2 \text{ м} = 10 \text{ В}.$$

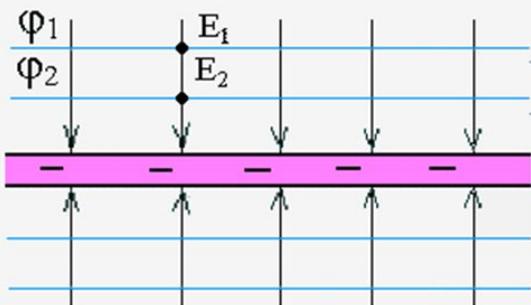
Правильный ответ: 1.

• **Эквипотенциальные поверхности.**

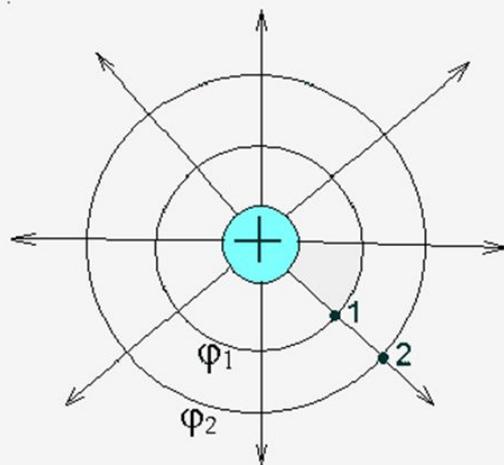
- **ЭПП - поверхности равного потенциала.**
- **Свойства ЭПП:**
 - работа при перемещении заряда вдоль эквипотенциальной поверхности не совершается;
 - вектор напряженности перпендикулярен к ЭПП в каждой ее точке.



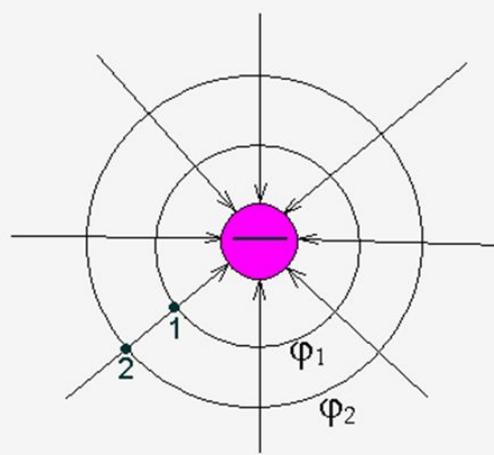
$$E_1 = E_2 \quad \varphi_1 < \varphi_2$$



$$E_1 = E_2 \quad \varphi_1 > \varphi_2$$



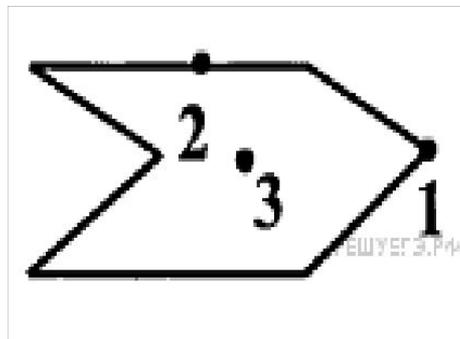
$$E_1 > E_2 \quad \varphi_1 > \varphi_2$$



$$E_1 > E_2 \quad \varphi_1 < \varphi_2$$

Металлическому полому телу, сечение которого представлено на рисунке, сообщен отрицательный заряд. Каково соотношение между потенциалами точек 1, 2 и 3, если тело помещено в однородное электростатическое поле?

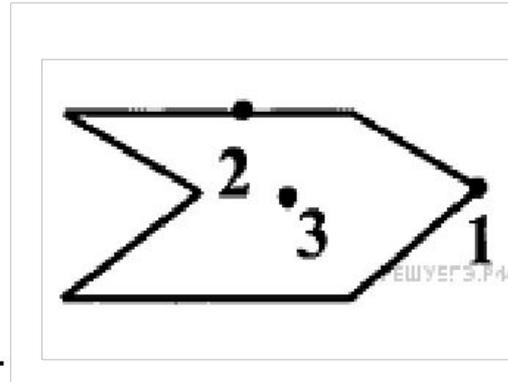
- 1) $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$
- 2) $\varphi_3 < \varphi_2 < \varphi_1$
- 3) $\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$
- 4) $\varphi_2 > \varphi_1, \varphi_2 > \varphi_3$



Металлическому полому телу, сечение которого представлено на рисунке, сообщен отрицательный заряд. Каково соотношение между потенциалами точек 1, 2 и 3, если тело помещено в однородное электростатическое поле?

- 1) $\varphi_1 = \varphi_2 = \varphi_3$
- 2) $\varphi_3 < \varphi_2 < \varphi_1$
- 3) $\varphi_1 < \varphi_2 < \varphi_3$
- 4) $\varphi_2 > \varphi_1, \varphi_2 > \varphi_3$

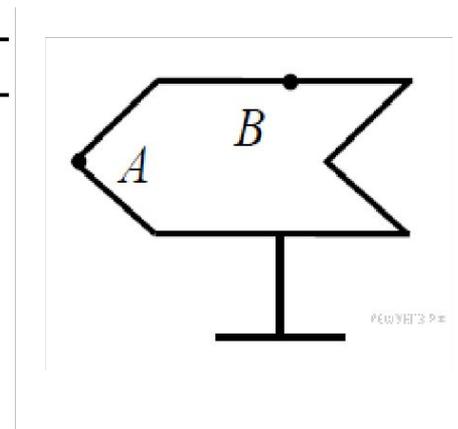
Решение.



Металл является проводником. Проводник, помещенный в электростатическое поле является эквипотенциальным телом, то есть все его точки находятся под одинаковым потенциалом. Действительно, если предположить обратное и допустить, что в проводнике есть точки с разными потенциалами, то между этими точками будет ненулевая разность потенциалов, а значит, эти точки проводника будут находиться под ненулевым электрическим напряжением, но тогда в проводнике должен течь ток, что противоречит исходному предположению о том, что все электростатично. Таким образом, при помещении проводника в электростатическое поле заряды на его поверхности всегда перераспределяются таким образом, чтобы потенциал всех точек был одинаковым. Более того, если в проводнике имеется полость, то все точки полости также имеют потенциал, совпадающий по величине с потенциалом проводника. Это явление называется экранировкой электростатического поля. Таким образом, верно утверждение 1.

Полному металлическому телу на изолирующей подставке (см. рисунок) сообщён положительный заряд. Каково соотношение между потенциалами точек A и B?

- 1) $\varphi_A = \varphi_B$
- 2) $\varphi_A < \varphi_B$
- 3) $\varphi_A > \varphi_B$
- 4) $\varphi_A = 0; \varphi_B > 0$



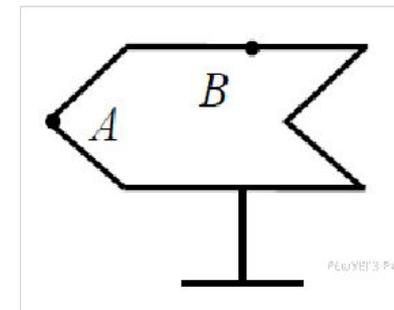
Полуму металлическому телу на изолирующей подставке (см. рисунок) сообщён положительный заряд. Каково соотношение между потенциалами точек А и В?

- 1) $\varphi_A = \varphi_B$
- 2) $\varphi_A < \varphi_B$
- 3) $\varphi_A > \varphi_B$
- 4) $\varphi_A = 0; \varphi_B > 0$

Решение.

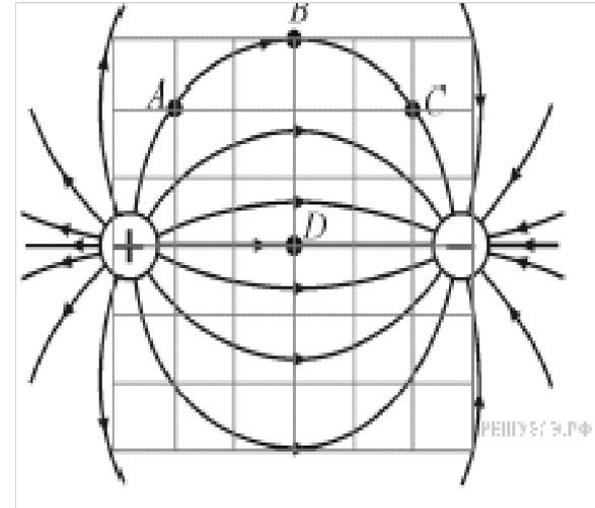
Металл является проводником. В электростатике (после того, как помещенный на проводник заряд распределился) проводник является эквипотенциальным телом, то есть все его точки находятся под одинаковым потенциалом. Действительно, если предположить обратное и допустить, что в проводнике есть точки с разными потенциалами, то между этими точками будет ненулевая разность потенциалов, а значит, эти точки проводника будут находиться под ненулевым электрическим напряжением, но тогда в проводнике должен течь ток, что противоречит исходному предположению о том, что все электростатично. Таким образом, заряды на поверхности проводника всегда перераспределяются таким образом, чтобы потенциал всех точек был одинаковым. Таким образом, верно соотношение 1.

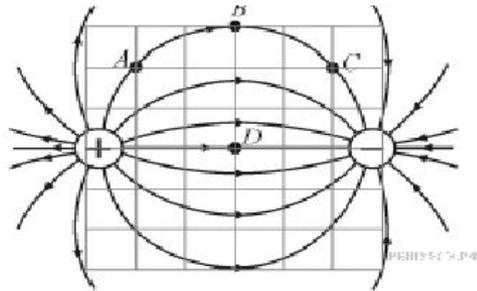
Правильный ответ: 1.



На рисунке показана картина силовых линий, создаваемых двумя неподвижными разноимёнными точечными зарядами. Какие точки имеют одинаковые потенциалы?

- 1) A и B
- 2) A и C
- 3) C и D
- 4) B и D





На рисунке показана картина силовых линий, создаваемых двумя неподвижными разноимёнными точечными зарядами. Какие точки имеют одинаковые потенциалы?

- 1) A и B
- 2) A и C
- 3) C и D
- 4) B и D

Решение.

Потенциал — отношение потенциальной энергии заряда в электрическом поле к величине его заряда. Потенциал, создаваемый несколькими зарядами, можно найти как алгебраическую сумму потенциалов. Потенциал, создаваемый точечным зарядом в вакууме, равен $\varphi = k \frac{q}{r}$. Пусть q — величина положительного заряда, тогда отрицательный заряд имеет величину $-q$. Пусть r_A, r_B, r_C, r_D — расстояние от положительного заряда до точек A, B, C и D соответственно. Заметим, что r_A также равно расстоянию от отрицательного заряда до точки C , r_B — расстоянию от отрицательного заряда до точки B , r_C — расстоянию от отрицательного заряда до точки A и r_D — расстоянию от отрицательного заряда до точки D .

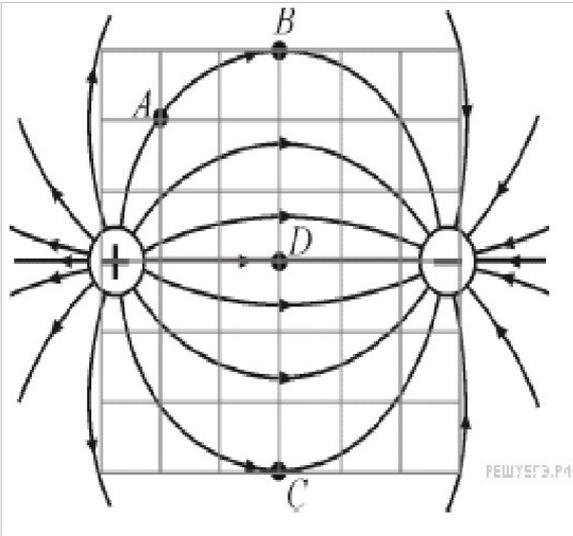
Найдём потенциалы всех точек:

$$\varphi_A = k \frac{q}{r_A} - k \frac{q}{r_C}, \quad \varphi_B = k \frac{q}{r_B} - k \frac{q}{r_B} = 0,$$

$$\varphi_C = k \frac{q}{r_C} - k \frac{q}{r_A} = -\varphi_A, \quad \varphi_D = k \frac{q}{r_D} - k \frac{q}{r_D} = 0.$$

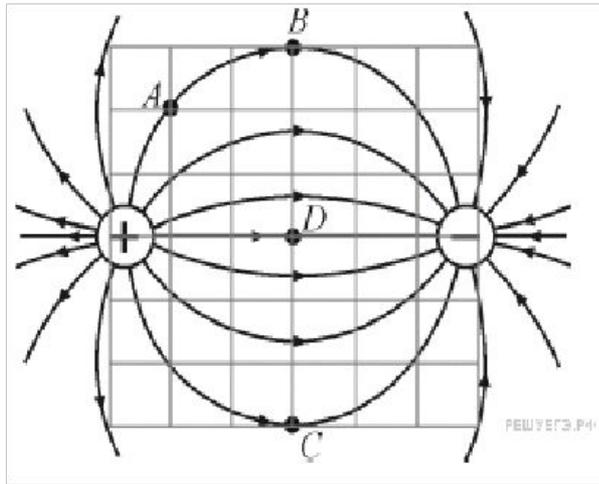
Правильный ответ указан под номером: 4.

На рисунке показана картина силовых линий, создаваемых двумя неподвижными разноимёнными точечными зарядами. Какие точки имеют различные потенциалы?



- 1) A и B
- 2) B и C
- 3) C и D
- 4) B и D

На рисунке показана картина силовых линий, создаваемых двумя неподвижными разноимёнными точечными зарядами. Какие точки имеют различные потенциалы?



1) A и B

2) B и C

3) C и D

4) B и D

Решение.

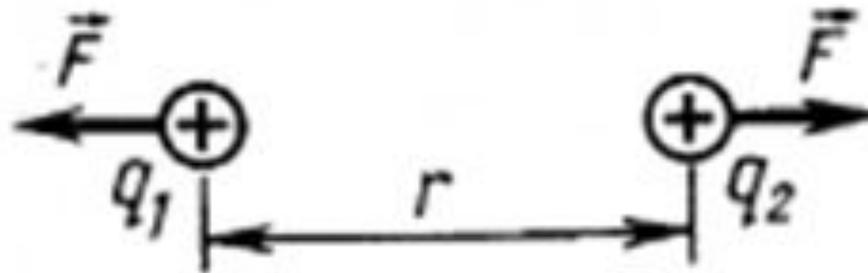
Потенциал — отношение потенциальной энергии заряда в электрическом поле к величине его заряда. Потенциал, создаваемый несколькими зарядами можно найти как алгебраическую сумму потенциалов. Потенциал

создаваемый точечным зарядом в вакууме равен $\phi = k \frac{q}{r}$. В силу того, что заряды равны по модулю, но противоположны по знаку, и расстояние от положительного заряда до точки B равно расстоянию от точки B до отрицательного заряда, потенциалы создаваемый в точке B положительным и отрицательным зарядами будут равны друг другу по модулю, но противоположны по знаку. Следовательно суммарный потенциал будет равен нулю. Аналогично в точках C и D . Следовательно из предложенных вариантов ответа верным является первый.

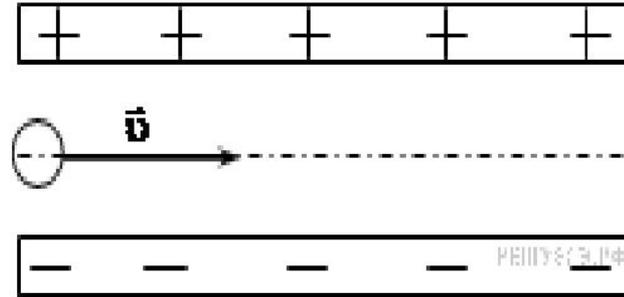
Правильный ответ указан под номером: 1.

Потенциальная энергия взаимодействия зарядов.

$$W = q_2 E r = k \frac{q_1 q_2}{r^2} r = k \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

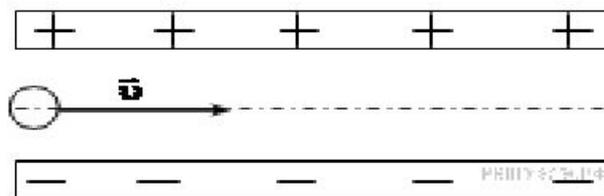


Пылинка, имеющая массу 10^{-8} г и заряд $(-1,8) \cdot 10^{-14}$ Кл, влетает в электрическое поле вертикального высокого конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок, вид сверху).



Чему должна быть равна минимальная скорость, с которой пылинка влетает в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его насквозь? Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряжение на пластинах конденсатора 5 000 В. Система находится в вакууме.

Пылинка, имеющая массу 10^{-8} г и заряд $(-1,8) \cdot 10^{-14}$ Кл, влетает в электрическое поле вертикального высокого конденсатора в точке, находящейся посередине между его пластинами (см. рисунок, вид сверху).



Чему должна быть равна минимальная скорость, с которой пылинка влетает в конденсатор, чтобы она смогла пролететь его насквозь? Длина пластин конденсатора 10 см, расстояние между пластинами 1 см, напряжение на пластинах конденсатора 5 000 В. Система находится в вакууме.

Решение.

Сила, действующая на частицу в конденсаторе со стороны поля: $F_{эл} = E|q|$. Связь напряжен-

ности электрического поля с напряжением на пластинах конденсатора: $E = \frac{U}{d}$, где d — расстояние между пластинами. Второй закон Ньютона в проекции на ось, перпендикулярную пласти-

нам: $F_{эл} = ma$, или $\frac{|q|U}{d} = ma$.

Сила со стороны электрического поля действует в горизонтальном направлении, в вертикальной плоскости будет обычное движение под действием силы тяжести, по параболе. Время полёта

вдоль пластин составляет $t = \frac{l}{v}$. За это время частица сместится в сторону пластины

на $s = \frac{at^2}{2} = \frac{|q|Ul^2}{2dmv^2}$. Условием пролёта насквозь является $s \leq \frac{d}{2}$. Откуда получаем минимальную скорость:

$$v = \frac{l}{d} \sqrt{\frac{|q|U}{m}}$$

Ответ: $v = 30$ м/с.



Маленький шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл и массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 5 см. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?

- Маленький шарик с зарядом q и массой 3 г, подвешенный на невесомой нити с коэффициентом упругости 100 Н/м, находится между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора. Расстояние между обкладками конденсатора 5 см. Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, если удлинение нити 0,5 мм?

Решение.

Условия равновесия: $k\Delta l \cdot \sin \alpha = qE$, $k\Delta l \cdot \cos \alpha = mg$. Возведем оба равенства в квадрат и сложим их: $(k\Delta l)^2 = (mg)^2 + (qE)^2$, откуда

$$E = \frac{\sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q}$$



Напряженность электрического поля в конденсаторе:

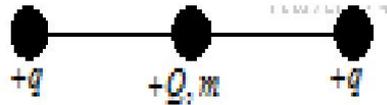
$$E = \frac{U}{d}$$

$$U = \frac{d \cdot \sqrt{(k\Delta l)^2 - (mg)^2}}{q} = 50 \text{ кВ}$$

Таким образом,

Ответ: $U = 50 \text{ кВ}$.

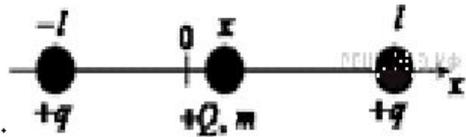
По гладкой горизонтальной направляющей длиной $2l$ скользит бусинка с положительным зарядом $Q > 0$ и массой m . На концах направляющей находятся положительные заряды $q > 0$ (см. рисунок). Бусинка совершает малые колебания относительно положения равновесия, период которых равен T .



Чему будет равен период колебаний бусинки, если ее заряд увеличить в 2 раза?

Решение.

При небольшом смещении x ($|x| \ll l$) бусинки от положения равновесия на нее действует воз-



вращающая сила:

$$F_x = k \frac{qQ}{(l+x)^2} - k \frac{qQ}{(l-x)^2} = kqQ \frac{(l-x)^2 - (l+x)^2}{(l+x)^2(l-x)^2} = -kqQ \frac{4lx}{(l+x)^2(l-x)^2} \approx -k \frac{4qQ}{l^3} x,$$

пропорциональная смещению x .

Ускорение бусинки, в соответствии со вторым законом Ньютона, $ma = -k \frac{4qQ}{l^3} x$, пропорционально смещению x . При такой зависимости ускорения от смещения бусинка совершает гармонич-

еские колебания, период которых $T = \pi \sqrt{\frac{ml^3}{kqQ}}$. При увеличении заряда бусинки в два раза $Q_1 = 2Q$ период колебаний уменьшится:

$$\frac{T_1}{T} = \sqrt{\frac{Q}{Q_1}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Ответ: $T_1 = \frac{T}{\sqrt{2}}$.

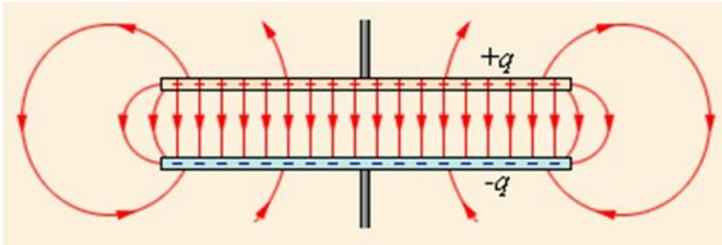
Электроемкость. Конденсаторы

- Если двум изолированным друг от друга проводникам сообщить заряды q_1 и q_2 , то между ними возникает некоторая разность потенциалов $\Delta\varphi$, зависящая от величин зарядов и геометрии проводников. Разность потенциалов $\Delta\varphi$ между двумя точками в электрическом поле часто называют **напряжением** и обозначают буквой U . Наибольший практический интерес представляет случай, когда заряды проводников одинаковы по

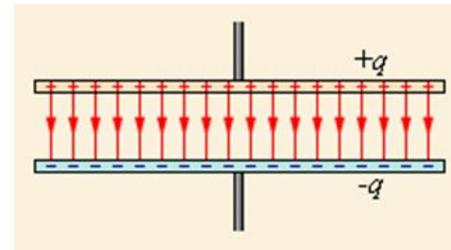
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U}$$

В системе СИ единица емкости называется **фарад** (Ф):

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$$



Поле плоского конденсатора



Идеализированное представление поля плоского конденсатора. Такое поле не обладает свойством потенциальности

- Таким образом, емкость плоского конденсатора прямо пропорциональна площади пластин (обкладок) и обратно пропорциональна расстоянию между ними. Если пространство между обкладками заполнено диэлектриком, емкость конденсатора увеличивается в ϵ раз:

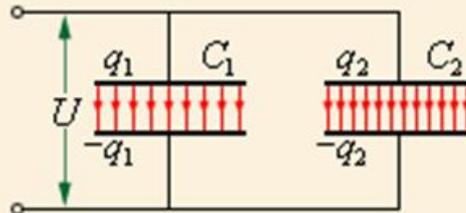
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$$

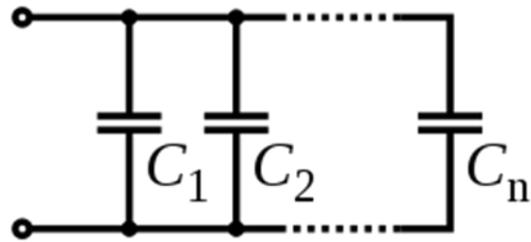
Конденсаторы могут соединяться между собой, образуя батареи конденсаторов.

При **параллельном соединении** конденсаторов напряжения на конденсаторах одинаковы: $U_1 = U_2 = U$, а заряды равны $q_1 = C_1 U$ и $q_2 = C_2 U$. Такую систему можно рассматривать как единый конденсатор емкости C , заряженный зарядом $q = q_1 + q_2$ при напряжении между обкладками равном U . Отсюда следует

$$C = \frac{q_1 + q_2}{U} \text{ или } C = C_1 + C_2$$

Таким образом, при параллельном соединении емкости складываются.





$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Последовательное соединение конденсаторов

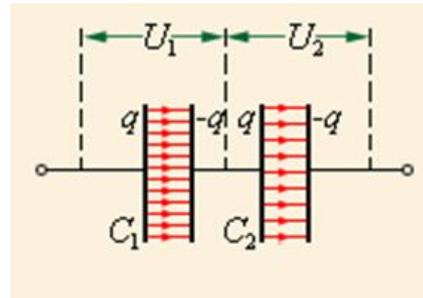
При последовательном соединении одинаковыми оказываются заряды обоих

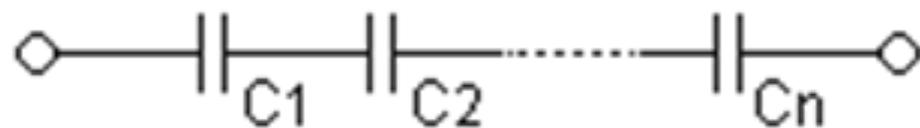
$$U_1 = \frac{q}{C_1} \quad \text{и} \quad U_2 = \frac{q}{C_2}$$

конденсаторов: $q_1 = q_2 = q$, а напряжения на них равны. Такую систему можно рассматривать как единый конденсатор, заряженный зарядом q при напряжении между обкладками $U = U_1 + U_2$. Следовательно,

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \quad \text{или} \quad \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

При последовательном соединении конденсаторов складываются обратные величины емкостей.





$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью S каждая, расположенных на расстоянии d друг от друга, в системе СИ выражается формулой: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице), ϵ_0 — электрическая постоянная, численно равная $8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Эта формула справедлива, лишь когда d намного меньше линейных размеров пластин.

Ёмкость плоского конденсатора, состоящего из двух параллельных металлических пластин площадью S каждая, расположенных на расстоянии d друг от друга, в системе СИ выражается формулой: $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, заполняющая пространство между пластинами (в вакууме равна единице), ϵ_0 — электрическая постоянная, численно равная $8,854187817 \cdot 10^{-12}$ Ф/м. Эта формула справедлива, лишь когда d намного меньше линейных размеров пластин. **Единица емкости.** Единица емкости в международной системе — фарад (Ф). Емкостью 1 Ф обладает такой конденсатор, напряжение между

обкладками которого равно 1 В при сообщении обкладкам разноименных зарядов по 1 Кл. $1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$.

В практике широко используются дольные единицы емкости — микрофарад (мкФ), нанофарад (нФ) и пикофарад (пФ):

$$1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф};$$

$$1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф};$$

$$1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}.$$

- Формулу, выражающую энергию заряженного конденсатора, можно переписать в форме

$$W_e = \frac{Q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{QU}{2}.$$

- Плоский воздушный конденсатор имеет емкость C . Как изменится его емкость, если расстояние между его пластинами уменьшить в 3 раза?
-
- 1) увеличится в 3 раза
- 2) уменьшится в 3 раза
- 3) увеличится в 9 раз
- 4) уменьшится в 9 раз

Плоский воздушный конденсатор имеет емкость C . Как изменится его емкость, если расстояние между его пластинами уменьшить в 3 раза?

- 1) увеличится в 3 раза
- 2) уменьшится в 3 раза
- 3) увеличится в 9 раз
- 4) уменьшится в 9 раз

Решение.

Емкость плоского воздушного конденсатора обратно пропорциональна расстоянию d между

пластинами: $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$. Уменьшения расстояния между пластинами в 3 раза приведет к увеличению емкости в 3 раза.

Правильный ответ: 1.

• Как изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если площадь обкладок уменьшить в 2 раза, а расстояние между ними увеличить в 2 раза?

-
- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 2 раза
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 4 раза

Как изменится емкость плоского воздушного конденсатора, если площадь обкладок уменьшить в 2 раза, а расстояние между ними увеличить в 2 раза?

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) уменьшится в 2 раза
- 3) не изменится
- 4) уменьшится в 4 раза

Решение.

Емкость плоского воздушного конденсатора прямо пропорциональна площади обкладок и об-

ратно пропорциональна расстоянию d между пластинами: $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$. Уменьшение площади обкладок в 2 раза и увеличение расстояния между пластинами в 2 раза приведет к уменьшению емкости в 4 раза.

Правильный ответ: 4.

- Как надо изменить заряд на обкладках плоского конденсатора, чтобы после увеличения зазора между обкладками в 3 раза, напряженность электрического поля в зазоре уменьшилась в итоге вдвое?
- 1) увеличить в 4 раза
- 2) оставить прежним
- 3) уменьшить в 2 раза
- 4) увеличить в 2 раз

Как надо изменить заряд на обкладках плоского конденсатора, чтобы после увеличения зазора между обкладками в 3 раза, напряженность электрического поля в зазоре уменьшилась в итоге вдвое?

- 1) увеличить в 4 раза
- 2) оставить прежним
- 3) уменьшить в 2 раза
- 4) увеличить в 2 раза

Решение.

Напряженность электрического поля внутри плоского конденсатора не зависит от расстояния между обкладками, а определяется только поверхностной плотностью электрического заряда на

них: $E = \frac{q}{\epsilon_0 S}$. Следовательно, для того, чтобы напряженность электрического поля в зазоре уменьшилась в 2 раза, необходимо уменьшить заряд обкладок в 2 раза.

Правильный ответ: 3.

Плоский конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Как изменится энергия электрического поля внутри конденсатора, если увеличить в 2 раза расстояние между обкладками конденсатора?

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

Плоский конденсатор зарядили и отключили от источника тока. Как изменится энергия электрического поля внутри конденсатора, если увеличить в 2 раза расстояние между обкладками конденсатора?

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

Решение.

Энергия электрического поля внутри плоского конденсатора пропорциональна квадрату заря-

да его обкладок и обратно пропорциональна емкости конденсатора: $E = \frac{q^2}{2C}$. При увеличении расстояния между обкладками конденсатора в 2 раза, заряды на них не изменятся, а емкость станет в

два раза меньше: $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$. Следовательно, энергия электрического поля увеличится в 2 раза.

Правильный ответ: 1.

- В подключенном к источнику постоянного тока плоском конденсаторе при увеличении в 2 раза расстояния между обкладками энергия электрического поля

-

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

В подключенном к источнику постоянного тока плоском конденсаторе при увеличении в 2 раза расстояния между обкладками энергия электрического поля

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 2 раза
- 4) уменьшится в 4 раза

Решение.

Энергия электрического поля внутри плоского конденсатора пропорциональна произведению

$$E = \frac{CU^2}{2}$$

емкости конденсатора и квадрата приложенного к нему напряжения: $E = \frac{CU^2}{2}$. При увеличении расстояния между обкладками конденсатора в 2 раза, напряжение на конденсаторе не изменится, а

емкость станет в два раза меньше: $C = \frac{\epsilon_0 S}{d}$. Следовательно, энергия электрического поля уменьшится в 2 раза.

Правильный ответ: 3.

- Плоский воздушный конденсатор изготовлен из двух одинаковых квадратных пластин со стороной a , зазор между которыми равен d . Другой плоский конденсатор изготовлен из двух одинаковых квадратных пластин со стороной $a/3$, зазор между которыми также равен d , и заполнен непроводящим веществом. Чему равна диэлектрическая проницаемость этого вещества, если электрические

Плоский воздушный конденсатор изготовлен из двух одинаковых квадратных пластин со стороной a , зазор между которыми равен d . Другой плоский конденсатор изготовлен из двух одинаковых квадратных пластин со стороной $a/3$, зазор между которыми также равен d , и заполнен непроводящим веществом. Чему равна диэлектрическая проницаемость этого вещества, если электрические ёмкости данных конденсаторов одинаковы?

- 1) 3
- 2) 6
- 3) 8
- 4) 9

Решение.

Ёмкость конденсатора зависит от площади пластин, расстояния между ними и диэлектрической ёмкости вещества, которым заполняют конденсатор:

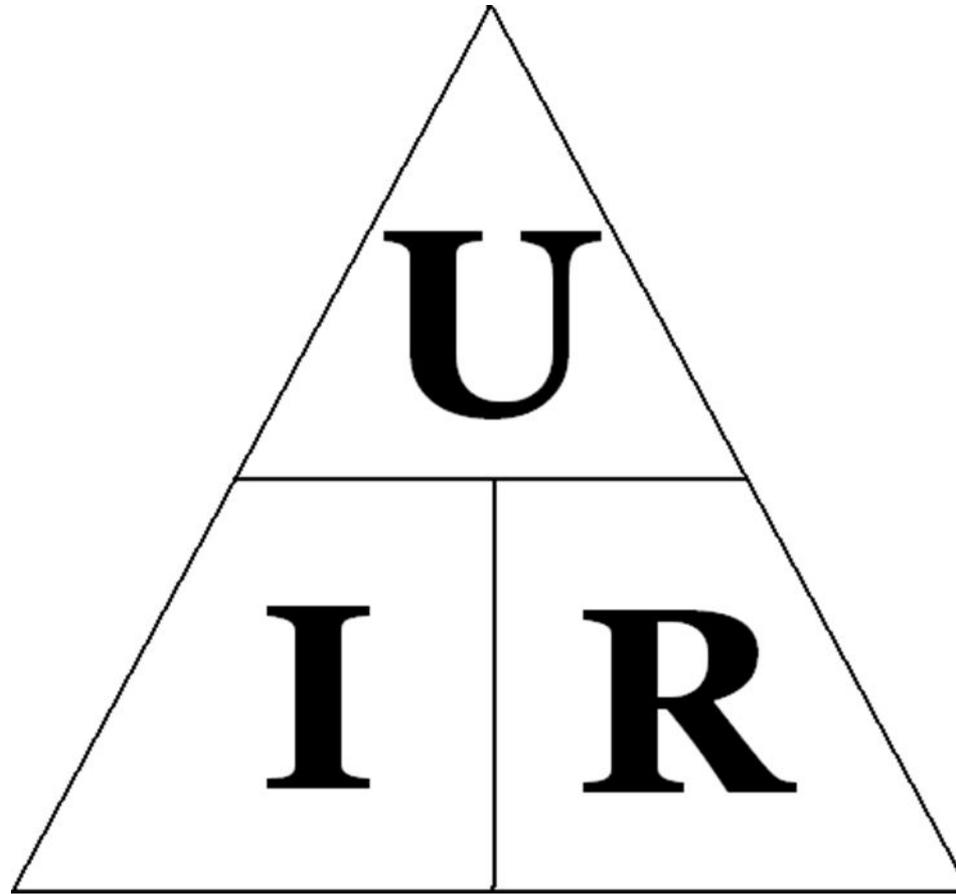
$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}.$$

Найдём отношение ёмкостей второго конденсатора к первому:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon \epsilon_0 a^2}{9d} \cdot \frac{d}{\epsilon_0 a^2} = 1 \Leftrightarrow \epsilon = 9.$$

Правильный ответ указан под номером 4.

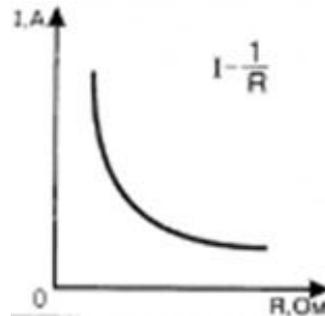
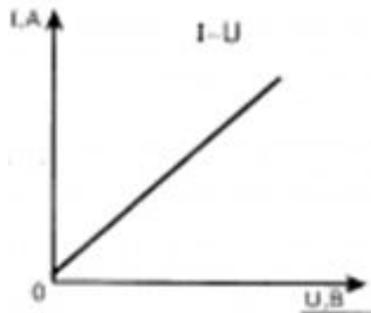
Закон Ома для участка цепи



Сила тока в участке цепи прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна сопротивлению этого участка.

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

Выполняется для металлов и электролитов.



Закон Джоуля - Ленца.

- **Количество теплоты, выделившееся при прохождении электрического тока по проводнику, прямо пропорционально квадрату силы тока, сопротивлению проводника и времени, в течение которого шел ток**

$$Q = I^2 R t$$

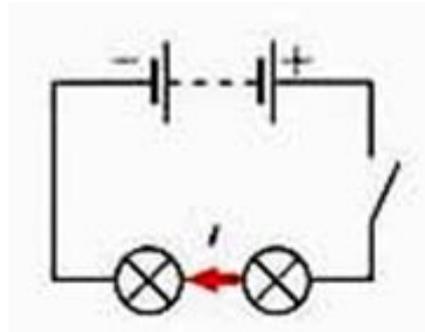
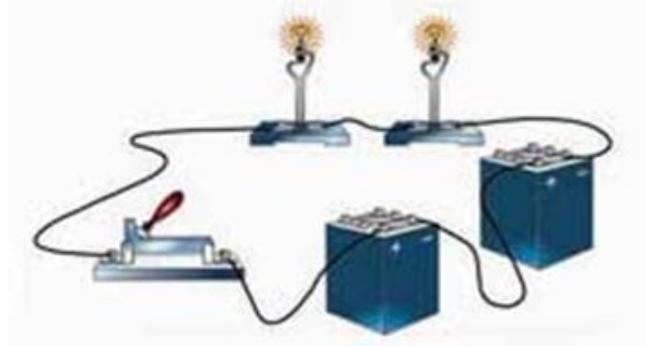
Работа и мощность электрического тока.

$$\left. \begin{array}{l} A = Uq \\ q = It \end{array} \right\} \Rightarrow A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

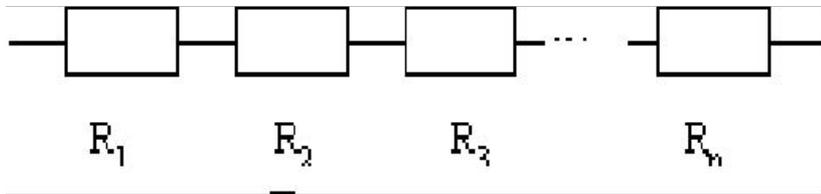
- Мощность электрического тока (работа в единицу времени): Работа электрического тока:

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

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



Последовательное соединение.



1. Сила тока во всех последовательно соединенных участках цепи одинакова:

$$I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = \dots$$

2. Напряжение в цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных участков, равно сумме напряжений на каждом участке:

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

3. Сопротивление цепи, состоящей из нескольких последовательно соединенных участков, равно сумме сопротивлений каждого участка:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n + \dots$$

Если все сопротивления в цепи одинаковы, то:

$$R = R_1 \cdot N$$

При последовательном соединении общее сопротивление увеличивается (больше большего).

Работа электрического тока в цепи, состоящей из последовательно соединенных участков, равна сумме работ на отдельных участках:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n + \dots$$

т.к. $A = I^2 R t = I^2 (R_1 + R_2 + \dots + R_n + \dots) t$.

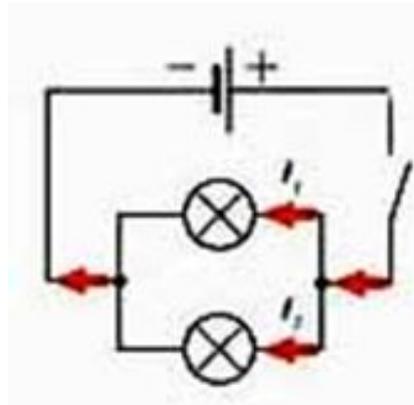
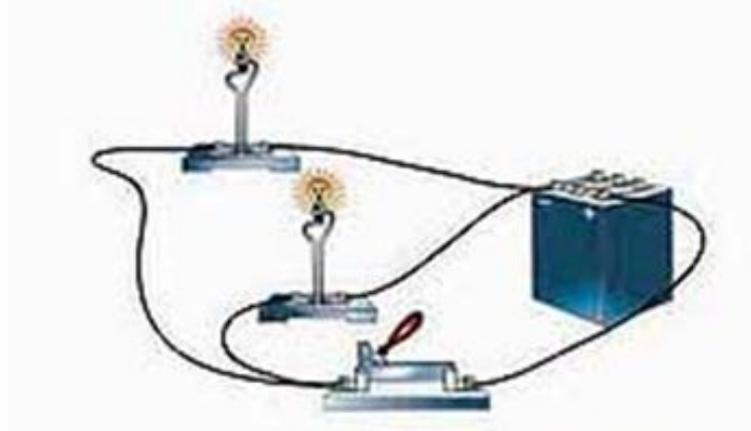
5. Мощность электрического тока в цепи, состоящей из последовательно соединенных участков, равна сумме мощностей на отдельных участках:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n + \dots$$

6. Т.к. силы тока во всех участках одинаковы, то: $U_1 : U_2 : \dots : U_n : \dots = R_1 : R_2 : \dots : R_n : \dots$

Для двух резисторов: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$ - чем больше сопротивление, тем больше напряжение.

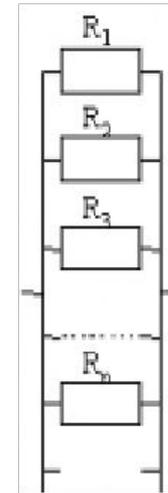
ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ



Параллельное соединение.

1. Сила тока в неразветвленном участке цепи равна сумме сил токов во всех параллельно соединенных участках.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n + \dots$$



2. Напряжение на всех параллельно соединенных участках цепи одинаково:

$$U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = \dots$$

3. При параллельном соединении проводников проводимости складываются (складываются величины, обратные сопротивлению):

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \dots$$

$$R = \frac{R_1}{n}$$

Если все сопротивления в цепи одинаковы, то:

При параллельном соединении общее сопротивление уменьшается (меньше меньшего).

Работа электрического тока в цепи, состоящей из параллельно соединенных участков, равна сумме работ на отдельных участках:

$$A = A_1 + A_2 + \dots + A_n + \dots$$

т.к.

$$A = \frac{U^2}{R} t = U^2 \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} + \dots \right) t$$

5. Мощность электрического тока в цепи, состоящей из параллельно соединенных участков, равна сумме мощностей на отдельных участках:

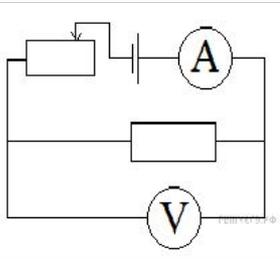
$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n + \dots$$

6. Т.к. напряжения на всех участках одинаковы, то:

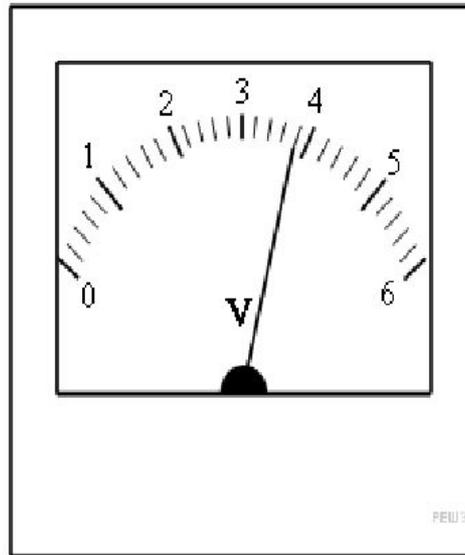
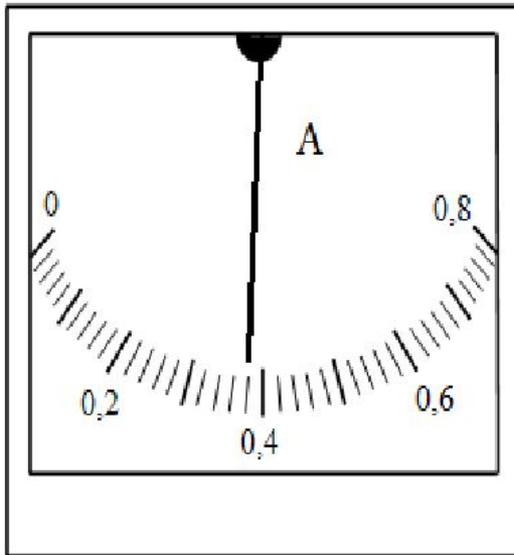
$$I_1 R_1 = I_2 R_2 = \dots = I_3 R_3 = \dots$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Для двух резисторов: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ - чем больше сопротивление, тем меньше сила тока.



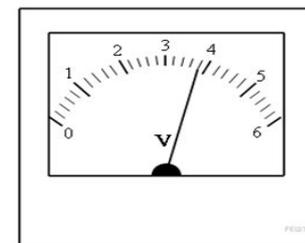
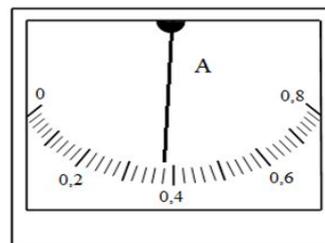
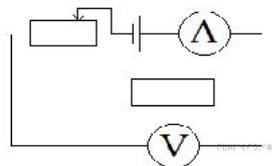
Задание 15 № 1403. Для исследования зависимости силы тока, протекающего через проволочный резистор, от напряжения на нем была собрана электрическая цепь, представленная на рисунке.



На какую величину необходимо увеличить напряжение для увеличения силы тока на $0,22\text{ A}$? Приборы считайте идеальными.

- 1) $1,1\text{ В}$
- 2) $2,2\text{ В}$
- 3) $3,3\text{ В}$
- 4) $4,4\text{ В}$

Задание 15 № 1403. Для исследования зависимости силы тока, протекающего через проводочный резистор, от напряжения на нем была собрана электрическая цепь, представленная на рисунке.



На какую величину необходимо увеличить напряжение для увеличения силы тока на 0,22 А? Приборы считайте идеальными.

- 1) 1,1 В
- 2) 2,2 В
- 3) 3,3 В
- 4) 4,4 В

Решение.

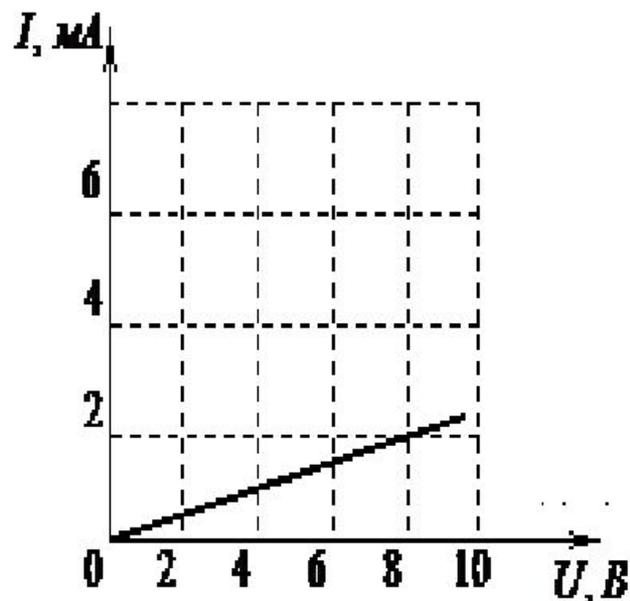
Согласно закону Ома, сила тока через проводник пропорциональна напряжению между его концами: $U = IR$. В силу линейности этого соотношения, увеличение силы тока и увеличение напряжения связаны аналогичным соотношением: $\Delta U = \Delta IR$. Поделив оба равенства друг на друга и учитывая показания приборов на фотографии, получаем, что для увеличения силы тока на

$$\Delta U = U \frac{\Delta I}{I} = 3,8 \text{ В} \cdot \frac{0,22 \text{ А}}{0,38 \text{ А}} = 2,2 \text{ В}$$

0,22 А, необходимо увеличить напряжение на

Правильный ответ: 2.

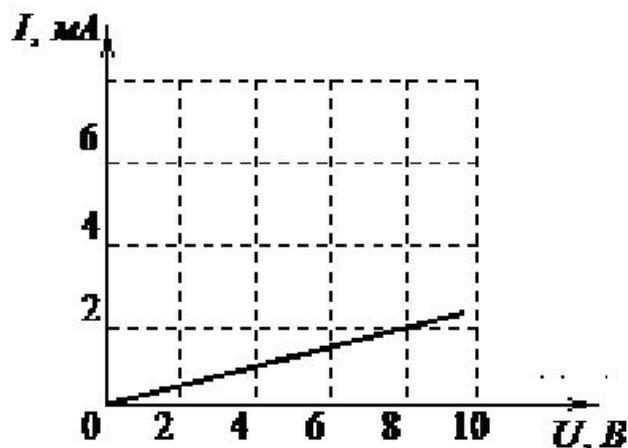
Задание 15 № 1407. На рисунке изображен график зависимости силы тока в проводнике от напряжения между его концами.



Чему равно сопротивление проводника?

- 1) 0,25 кОм
- 2) 2 кОм
- 3) 4 кОм
- 4) 8 кОм

Задание 15 № 1407. На рисунке изображен график зависимости силы тока в проводнике от напряжения между его концами.



Чему равно сопротивление проводника?

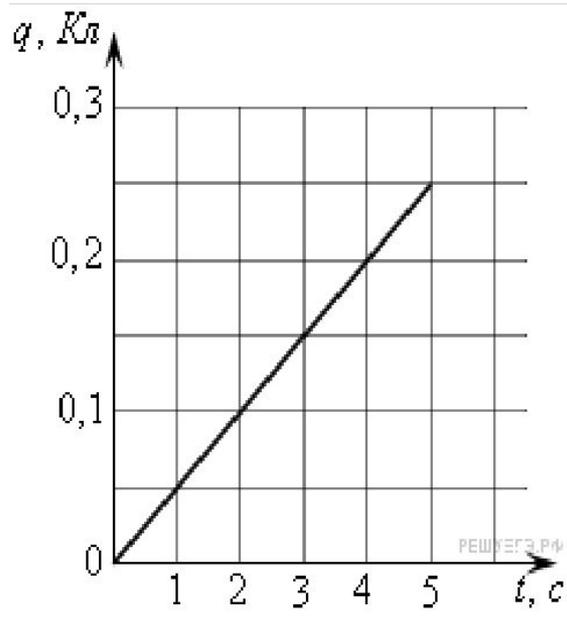
- 1) 0,25 кОм
- 2) 2 кОм
- 3) 4 кОм
- 4) 8 кОм

Решение.

Согласно закону Ома, сила тока, сопротивление проводника и напряжение между его концами связаны соотношением $U = IR$. Используя график, находим сопротивление проводника

$$R = \frac{U}{I} = \frac{8 \text{ В}}{2 \text{ мА}} = 4 \text{ кОм}$$

Правильный ответ: 3.



Задание 15 № 3229. На графике представлена зависимость от времени заряда, прошедшего по проводнику. Сила тока в проводнике равна

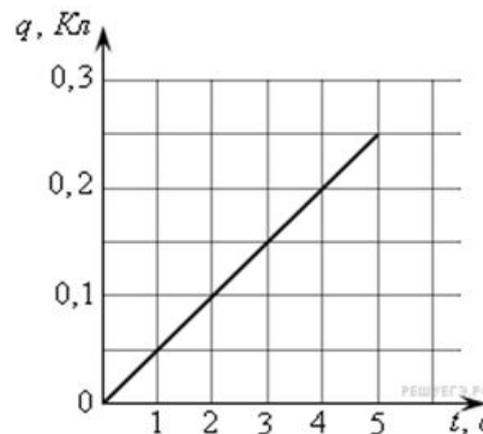
- 1) 0,05 А
- 2) 0,5 А
- 3) 1,5 А
- 4) 2 А

Задание 15 № 3229. На графике представлена зависимость от времени заряда, прошедшего по проводнику. Сила тока в проводнике равна

- 1) 0,05 А
- 2) 0,5 А
- 3) 1,5 А
- 4) 2 А

Решение.

Сила тока, по определению, есть скорость протекания заряда через проводник. Из графика видно, что зависимость прошедшего по проводнику заряда от времени линейна, а значит, сила тока оставалась постоянной на протяжении всего времени наблюдения. Используя две любые удобные точки на графике, находим силу тока в проводнике:



$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{(0,2 \text{ Кл} - 0,1 \text{ Кл})}{(4 \text{ с} - 2 \text{ с})} = 0,05 \text{ А}$$

Задание 15 № 3531. К источнику тока с ЭДС 4 В и внутренним сопротивлением $r = 5 \text{ Ом}$ подсоединили нагрузочное сопротивление. Чему оно должно быть равно, чтобы КПД источника был равен 50%?

- 1) 5 Ом
- 2) 2,5 Ом
- 3) 2 Ом
- 4) 4 Ом

Задание 15 № 3531. К источнику тока с ЭДС 4 В и внутренним сопротивлением $r = 5 \text{ Ом}$ подсоединили нагрузочное сопротивление. Чему оно должно быть равно, чтобы КПД источника был равен 50%?

- 1) 5 Ом
- 2) 2,5 Ом
- 3) 2 Ом
- 4) 4 Ом

Решение.

КПД источника определяется как отношение полезной работы (тепла, выделяющегося на

нагрузке) к работе, совершаемой ЭДС: $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{ист}}} \cdot 100\%$. Обе эти работы пропорциональны времени, в течение которого пропускается ток, поэтому отношение работ заменим на отношение

соответствующих мощностей: $\eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{ист}}} \cdot 100\%$. По закону Ома для полной цепи, сила тока в цепи

будет равна $I = \frac{\epsilon}{R_{\text{н}} + r}$. Мощность источника равна тогда $P_{\text{ист}} = \epsilon I = \frac{\epsilon^2}{R_{\text{н}} + r}$. напряжение,

приходящееся на нагрузку, по закону Ома для участка цепи, равно $U_{\text{н}} = IR_{\text{н}} = \frac{\epsilon R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + r}$. Следова-

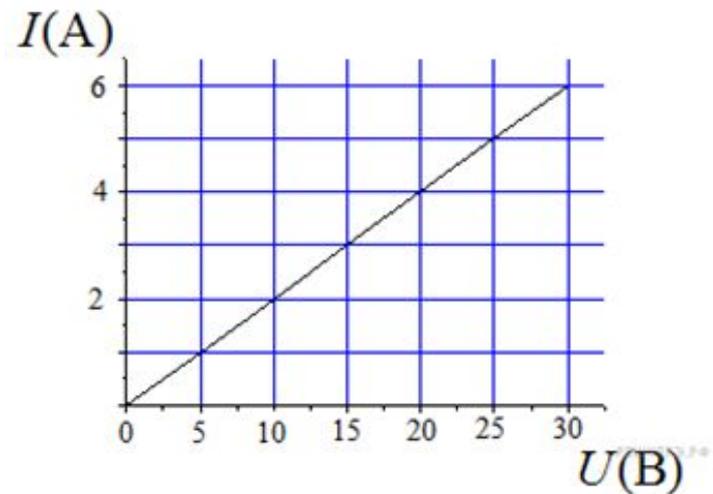
тельно, полезная мощность: $P_{\text{пол}} = U_{\text{н}} I = \frac{\epsilon^2 R_{\text{н}}}{(R_{\text{н}} + r)^2}$. Таким образом, для того, чтобы КПД был равен 50% необходимо, чтобы выполнялось равен-

ство $50\% = \frac{\epsilon^2 R_{\text{н}} / (R_{\text{н}} + r)^2}{\epsilon^2 / (R_{\text{н}} + r)} \cdot 100\% = \frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + r} \cdot 100\% \Leftrightarrow R_{\text{н}} = r = 5 \text{ Ом}$.

Правильный ответ: 1.

- На графике изображена зависимость силы тока в проводнике от напряжения между его концами. Чему равно сопротивление проводника?

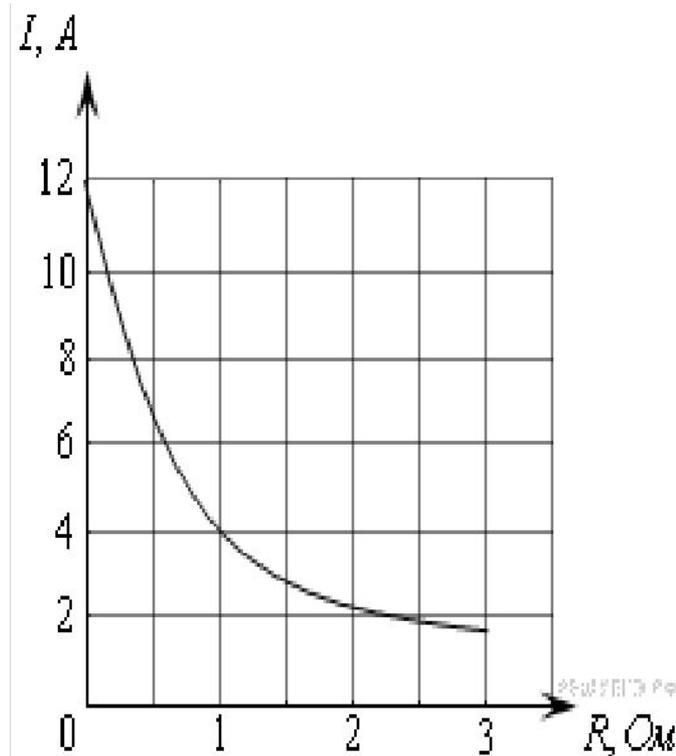
- - 1) 5 Ом
 - 2) 4 Ом
 - 3) 0,25 Ом
 - 4) 20 Ом



Задание 15 № 3380.

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?

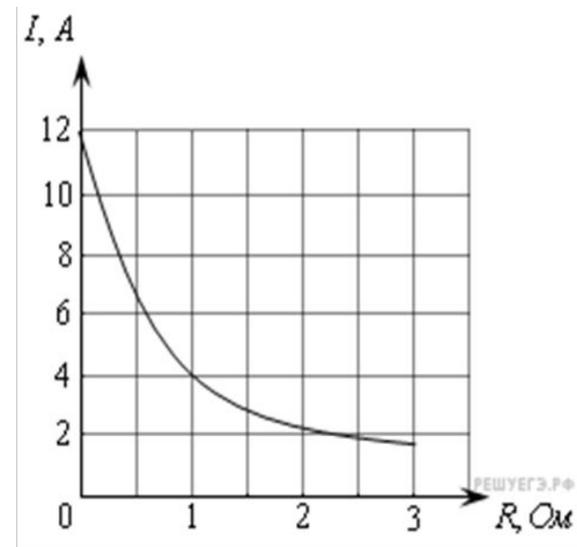
- 1) 0
- 2) 1 Ом
- 3) 0,5 Ом
- 4) 2 Ом



Задание 15 № 3380.

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?

- 1) 0
- 2) 1 Ом
- 3) 0,5 Ом
- 4) 2 Ом



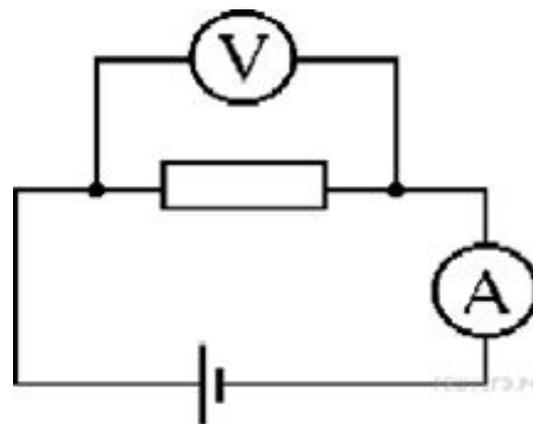
Решение.

Согласно закону Ома для полной цепи, сила тока через реостат равна $I = \frac{\varepsilon}{r + R}$, где ε — ЭДС, а r — внутреннее сопротивление. Возьмём любую точку на графике и составим уравнение для на-

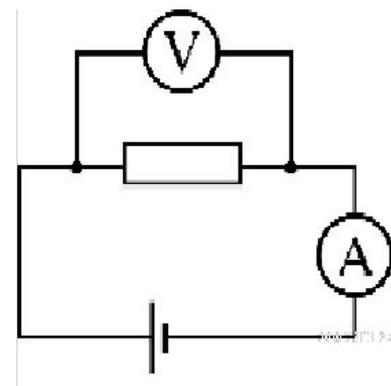
хождения внутреннего сопротивления: $4 \text{ A} = \frac{6 \text{ В}}{r + 1 \text{ Ом}}$. Решая это уравнение, получаем, что внутреннее сопротивление источника равно $r = 0,5 \text{ Ом}$.

- В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, измерительные приборы идеальные, вольтметр показывает значение напряжения 8 В, а амперметр — значение силы тока 2 А. Какое количество теплоты выделится в резисторе за 1 секунду?

-
- 1) 4 Дж
- 2) 0,25 Дж
- 3) 16 Дж
- 4) 32 Дж



Задание 15 № 3710. В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, измерительные приборы идеальные, вольтметр показывает значение напряжения 8 В, а амперметр — значение силы тока 2 А. Какое количество теплоты выделится в резисторе за 1 секунду?



- 1) 4 Дж
- 2) 0,25 Дж
- 3) 16 Дж
- 4) 32 Дж

Решение.

То, что приборы идеальные, означает, что они своим присутствием не вносят никаких изменений в схему, и их показания отражают реальные значения силы тока и напряжения в цепи. Количество теплоты, выделяющейся на резисторе за время t связано с напряжением на резисторе и текущим через него током соотношением: $Q = UIt$.

Таким образом, за 1 с на резисторе выделится тепло: $Q = 8 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 16 \text{ Дж}$.

• **Задание 15 № 4088.** На рисунке изображена схема электрической цепи, включающей источник постоянного тока, идеальный вольтметр, ключ и резистор. Показание вольтметра при замкнутом ключе в 3 раза меньше, чем показание вольтметра при разомкнутом ключе.

• Можно утверждать, что внутреннее сопротивление источника тока

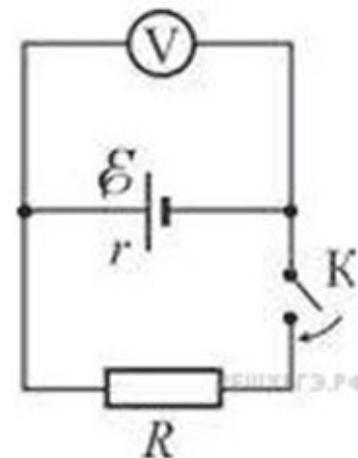
•

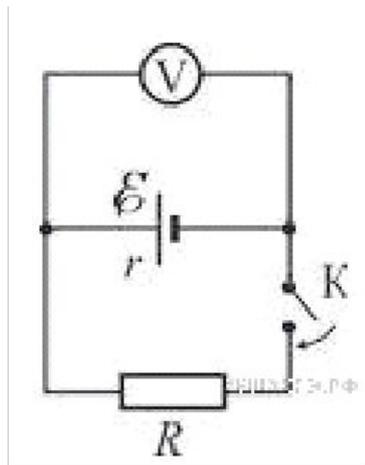
• 1) в 3 раза больше сопротивления резистора

• 2) в 3 раза меньше сопротивления резистора

• 3) в 2 раза больше сопротивления резистора

• 4) в 2 раза меньше сопротивления резистора





Задание 15 № 4088. На рисунке изображена схема электрической цепи, включающей источник постоянного тока, идеальный вольтметр, ключ и резистор. Показание вольтметра при замкнутом ключе в 3 раза меньше, чем показание вольтметра при разомкнутом ключе.

Можно утверждать, что внутреннее сопротивление источника тока

- 1) в 3 раза больше сопротивления резистора
- 2) в 3 раза меньше сопротивления резистора
- 3) в 2 раза больше сопротивления резистора

4) в 2 раза меньше сопротивления резистора

Решение.

Идеальным вольтметром называется вольтметр с бесконечным сопротивлением. Через такой вольтметр не может течь ток. Поэтому при разомкнутом ключе такой вольтметр измеряет ЭДС источника ϵ . Когда ключ замыкают, через сопротивление R начинает течь ток, который можно найти

$$I = \frac{\epsilon}{r + R}$$

из закона Ома для полной цепи: При замкнутом ключе вольтметр показывает напряжение на выводах источника (оно отлично от ЭДС, так как часть напряжения теперь падает на внутреннем сопротивлении источника), или что то же самое, вольтметр измеряет напряжение на сопро-

тивлении R . Таким образом, во втором случае, вольтметр показывает напряжение $IR = \frac{\epsilon R}{r + R}$. Со-

гласно условию, $\epsilon = 3 \cdot \frac{\epsilon R}{r + R} \Leftrightarrow r = 2R$. Следовательно, $1 = 3 \cdot \frac{R}{r + R} \Leftrightarrow r = 2R$. То есть, сопротивление источника тока в 2 раза больше сопротивления резистора.

Правильный ответ: 3

Задание 15 № 4123. Резистор с сопротивлением R подключают к источнику тока с ЭДС E_1 и внутренним сопротивлением r_1 . Если подключить этот резистор к источнику тока с ЭДС $E_2 = 2E_1$ и внутренним сопротивлением $r_2 = r_1$, то мощность, выделяющаяся в этом резисторе.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 8 раз
- 4) не изменится

Задание 15 № 4123. Резистор с сопротивлением R подключают к источнику тока с ЭДС E_1 и внутренним сопротивлением r_1 . Если подключить этот резистор к источнику тока с ЭДС $E_2 = 2E_1$ и внутренним сопротивлением $r_2 = r_1$, то мощность, выделяющаяся в этом резисторе.

- 1) увеличится в 2 раза
- 2) увеличится в 4 раза
- 3) уменьшится в 8 раз
- 4) не изменится

Решение.

Согласно закон Ома для полной цепи, ток, текущий через резистор равен $I = \frac{E}{R+r}$. Следова-

тельно, мощность, выделяющаяся в резисторе: $N = I^2 R = \frac{E^2 R}{(R+r)^2}$. Таким образом, поскольку $r_2 = r_1$, а $E_2 = 2E_1$ заключаем, что выделяемая на резисторе мощность увеличится в 4 раза.

Обратите внимание, что зависимость данной величины от внутреннего сопротивления источника менее тривиальна.

Правильный ответ: 2.

Задание 15 № 4420. Идеальный амперметр и три резистора сопротивлением $R = 2$ Ом, $2R$ и $3R$ включены последовательно в электрическую цепь, содержащую источник с ЭДС, равной 5 В, и внутренним сопротивлением $r = 8$ Ом. Показания амперметра равны

- 1) 100 А
- 2) 4 А
- 3) $\approx 0,56$ А
- 4) $0,25$ А

Задание 15 № 4420. Идеальный амперметр и три резистора сопротивлением $R = 2$ Ом, $2R$ и $3R$ включены последовательно в электрическую цепь, содержащую источник с ЭДС, равной 5 В, и внутренним сопротивлением $r = 8$ Ом. Показания амперметра равны

- 1) 100 А
- 2) 4 А
- 3) $\approx 0,56$ А
- 4) $0,25$ А

Решение.

Идеальный амперметр не имеет сопротивления. Согласно закону Ома для полной цепи, сила тока в описанной в условии задачи цепи (как раз то, что показывает амперметр)

$$\text{равна } I = \frac{\varepsilon}{r + (R + 2R + 3R)} = \frac{\varepsilon}{r + 6R} = \frac{5 \text{ В}}{8 \text{ Ом} + 6 \cdot 2 \text{ Ом}} = 0,25 \text{ А}$$

Правильный ответ: 4

. К источнику тока с ЭДС 2 В подключен конденсатор емкостью 1 мкФ. Какую работу совершил источник при зарядке конденсатора?

- 1) $1 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 2) $2 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 3) $3 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 4) $4 \cdot 10^{-6}$ Дж

. К источнику тока с ЭДС 2 В подключен конденсатор емкостью 1 мкФ. Какую работу совершил источник при зарядке конденсатора?

- 1) $1 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 2) $2 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 3) $3 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 4) $4 \cdot 10^{-6}$ Дж

Решение.

Определим, до какого заряда зарядится конденсатор: $q = C\varepsilon$. Работа источника заключается в переносе заряда с одной пластины конденсатора на другую и равна, следовательно, следующей величине: $A = \varepsilon q = C\varepsilon^2 = 1 \text{ мкФ} \cdot (2 \text{ В})^2 = 4 \text{ мкДж}$.

Обратите внимание на стандартную ошибку, которую обычно допускают при решении подобных задач. Если попытаться воспользоваться законом сохранения энергии, и заключить, что работа источника равна энергии заряженного конденсатора, то это будет неправильно. Действительно,

$$E_C = \frac{C\varepsilon^2}{2}$$

энергия конденсатора равна $\frac{C\varepsilon^2}{2}$. Это вдвое меньше полученного нами ранее ответа, Возникает вопрос, куда же тратится оставшаяся часть работы источника? Ответ прост: при зарядке конденсатора всегда выделяется тепло на соединительных проводах. Именно на это и тратится оставшаяся работа. Внимательный читатель спросит: "Простите, но в схеме, описанной в условии, нет активного сопротивления, на котором это тепло могло бы выделяться. Как же так?". Ответ на это возражение следующий: "Сопротивление есть всегда, просто иногда мы им пренебрегаем, схема без активных сопротивлений, например, идеальный колебательный контур — это некоторая идеализация, модель. В задаче о зарядке конденсатора, модель цепи без сопротивления не является законной. К счастью, если считать работу так, как показано в решении, то ответ не зависит от того, есть ли сопротивление."

Важно, что если провести аккуратный расчет в цепи с сопротивлением и посчитать выделившееся на сопротивлении за время зарядки тепло, то оно в точности будет равно $Q = \frac{C\varepsilon^2}{2}$. Так что никаких проблем с законом сохранения энергии нет.

Правильный ответ: 4.

К источнику тока с ЭДС 2 В подключен конденсатор емкостью 1 мкФ. Какое тепло выделится в цепи в процессе зарядки конденсатора? Эффектами излучения пренебречь.

- 1) $1 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 2) $2 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 3) $3 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 4) $4 \cdot 10^{-6}$ Дж

К источнику тока с ЭДС 2 В подключен конденсатор емкостью 1 мкФ. Какое тепло выделится в цепи в процессе зарядки конденсатора? Эффектами излучения пренебречь.

- 1) $1 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 2) $2 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 3) $3 \cdot 10^{-6}$ Дж
- 4) $4 \cdot 10^{-6}$ Дж

Решение.

Определим, до какого заряда зарядится конденсатор: $q = C\varepsilon$. Работа источника заключается в переносе заряда с одной пластины конденсатора на другую и, следовательно, равна следующей ве-

личине: $A = \varepsilon q = C\varepsilon^2$. Энергия электрического поля в конденсаторе равна $E_C = \frac{C\varepsilon^2}{2}$. Работа источника идет на энергию конденсатора и на выделения тепла в процессе заряд-

$$A = E_C + Q = C\varepsilon^2 - \frac{C\varepsilon^2}{2} = \frac{1 \text{ мкФ} \cdot (2 \text{ В})^2}{2} = 2 \text{ мкДж}$$

ки:

Правильный ответ: 2.

К идеальному источнику тока с ЭДС 3 В подключили конденсатор емкостью 1 мкФ один раз через резистор 10^7 Ом, а второй раз — через резистор $2 \cdot 10^7$ Ом. Во сколько раз во втором случае изменится тепло, выделившееся на резисторе, по сравнению с первым? Излучением пренебречь.

- 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) не изменится

К идеальному источнику тока с ЭДС 3 В подключили конденсатор емкостью 1 мкФ один раз через резистор 10^7 Ом, а второй раз — через резистор $2 \cdot 10^7$ Ом. Во сколько раз во втором случае изменится тепло, выделившееся на резисторе, по сравнению с первым? Излучением пренебречь.

- 1) увеличится в $\sqrt{2}$ раз
- 2) увеличится в 2 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) не изменится

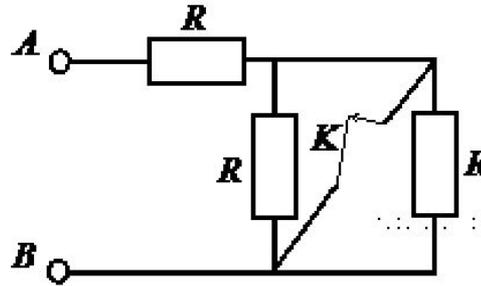
Решение.

По закону сохранения энергии, работа источника идет на энергию электрического поля в конденсаторе и на тепло, выделяющееся на сопротивлении во время зарядки: $A = E_C + Q$. Поскольку емкость конденсатора не изменяется, запасаемая в нем энергия в обоих случаях совпадает:

ет: $E_C = \frac{C\varepsilon^2}{2}$. Работа источника также не изменяется, так как заряд конденсатора в обоих случаях одинаков: $A = \varepsilon q = C\varepsilon^2$. Следовательно, тепло, выделяющееся на резисторе также не изменяется.

Правильный ответ: 4.

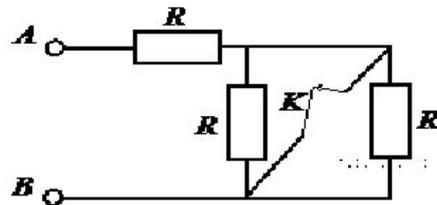
Как изменится сопротивление участка цепи AB , изображенного на рисунке, если ключ K разомкнуть?



Сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.

- 1) уменьшится на 4 Ом
- 2) уменьшится на 2 Ом
- 3) увеличится на 2 Ом
- 4) увеличится на 4 Ом

Как изменится сопротивление участка цепи AB , изображенного на рисунке, если ключ K разомкнуть?

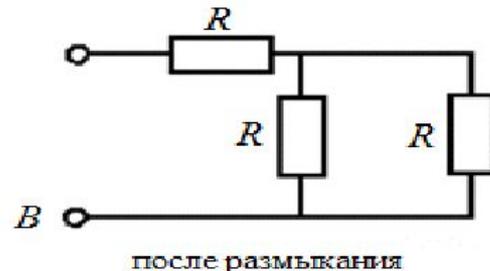
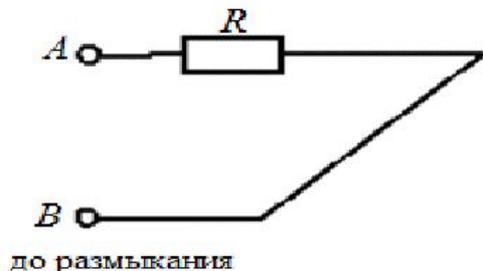


Сопротивление каждого резистора равно 4 Ом.

- 1) уменьшится на 4 Ом
- 2) уменьшится на 2 Ом
- 3) увеличится на 2 Ом
- 4) увеличится на 4 Ом

Решение.

До размыкания ключа, изображенные на рисунке вертикально сопротивления закорочены, схема представляет собой просто резистор R .

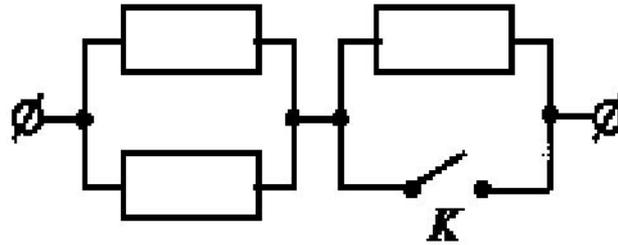


Если разомкнуть ключ, «вертикальные» сопротивления перестанут быть закороченным и схема станет представлять собой последовательно соединение резистора R с двумя параллельно соединенными резисторами R . Следовательно сопротивление участка цепи после размыкания ключа будет равно

$$R + \frac{R \cdot R}{R + R} = 1,5R = 1,5 \cdot 4 \text{ Ом} = 6 \text{ Ом}$$

Таким образом, сопротивление участка цепи увеличится на 2 Ом.
Правильный ответ: 3.

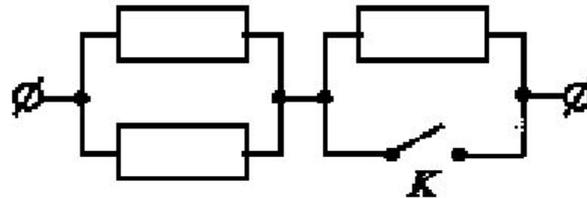
На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

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

На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .

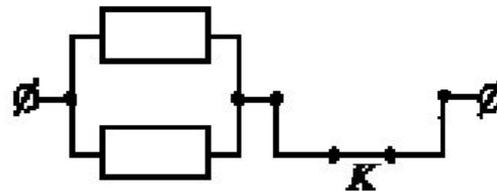


Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

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

Решение.

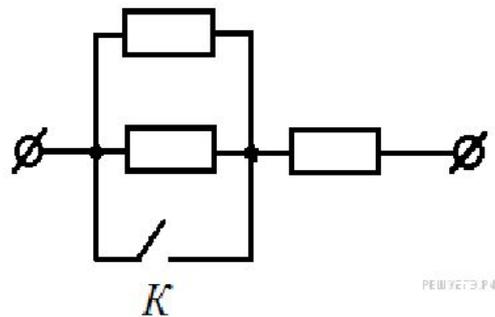
После замыкания ключа правая половина схемы окажется закороченной, получившаяся схема будет эквивалента двум подключенным параллельно резисторам.



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно $\frac{R \cdot R}{R + R} = \frac{1}{2}R$.

Правильный ответ: 1.

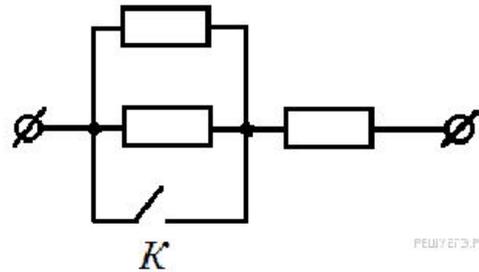
На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

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

На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .

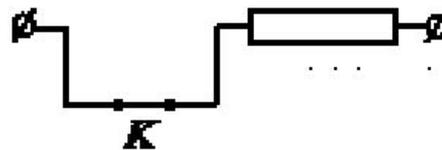


Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

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

Решение.

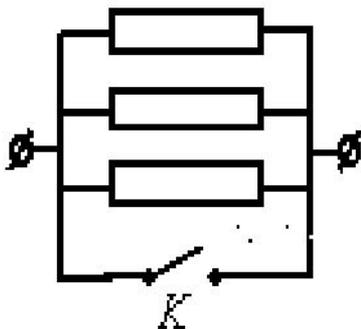
После замыкания ключа левая половина схемы окажется закороченной, получившаяся схема будет эквивалента просто одному резистору.



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно R .

Правильный ответ: 2.

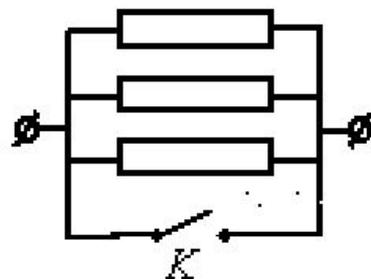
На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

- 1) 0
- 2) R
- 3) $2R$
- 4) $3R$

На участке цепи, изображенном на рисунке, сопротивление каждого из резисторов равно R .

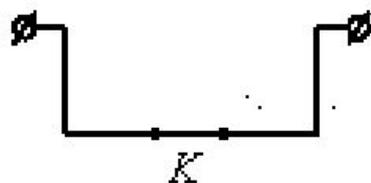


Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно

- 1) 0
- 2) R
- 3) $2R$
- 4) $3R$

Решение.

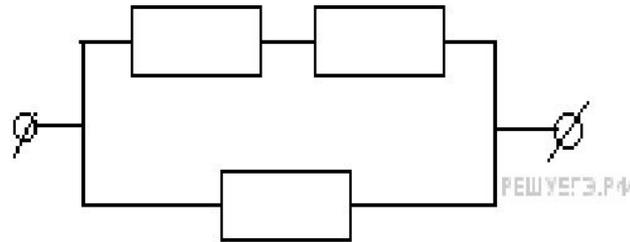
После замыкания ключа клеммы окажутся закороченными.



Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно 0 .

Правильный ответ: 1.

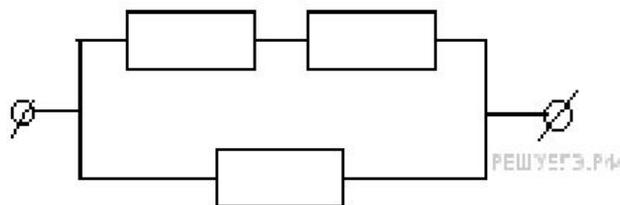
На рисунке показан участок цепи постоянного тока, содержащий 3 резистора.



Если сопротивление каждого резистора $21\ \text{Ом}$, то сопротивление всего участка цепи

- 1) $63\ \text{Ом}$
- 2) $42\ \text{Ом}$
- 3) $14\ \text{Ом}$
- 4) $7\ \text{Ом}$

На рисунке показан участок цепи постоянного тока, содержащий 3 резистора.



Если сопротивление каждого резистора 21 Ом, то сопротивление всего участка цепи

- 1) 63 Ом
- 2) 42 Ом
- 3) 14 Ом
- 4) 7 Ом

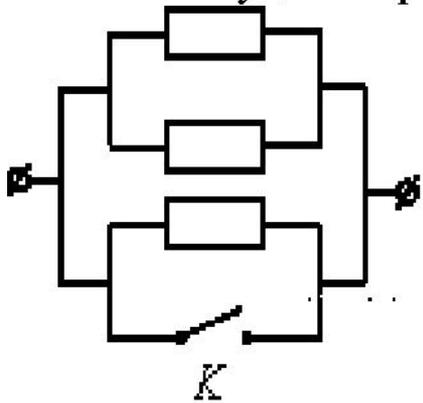
Решение.

Участок цепи представляет собой два последовательно соединенных резистора, к которым параллельно подсоединен еще один. Следовательно, сопротивление всего участка равно

$$\frac{(R+R)R}{(R+R)+R} = \frac{2}{3}R = \frac{2}{3} \cdot 21 \text{ Ом} = 14 \text{ Ом}$$

Правильный ответ: 3.

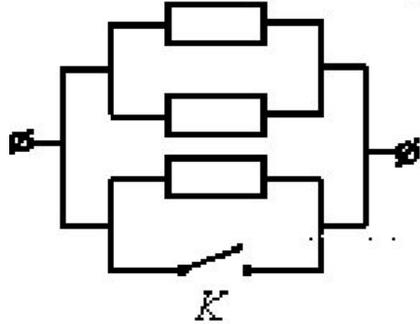
Каким будет сопротивление участка цепи (см. рисунок), если ключ K замкнуть?



(Каждый из резисторов имеет сопротивление R .)

- 1) $2R$
- 2) 0
- 3) $3R$
- 4) R

Каким будет сопротивление участка цепи (см. рисунок), если ключ K замкнуть?

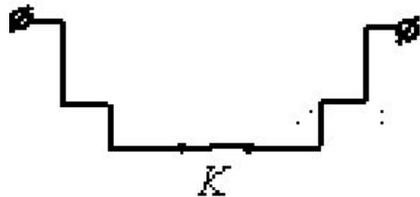


(Каждый из резисторов имеет сопротивление R .)

- 1) $2R$
- 2) 0
- 3) $3R$
- 4) R

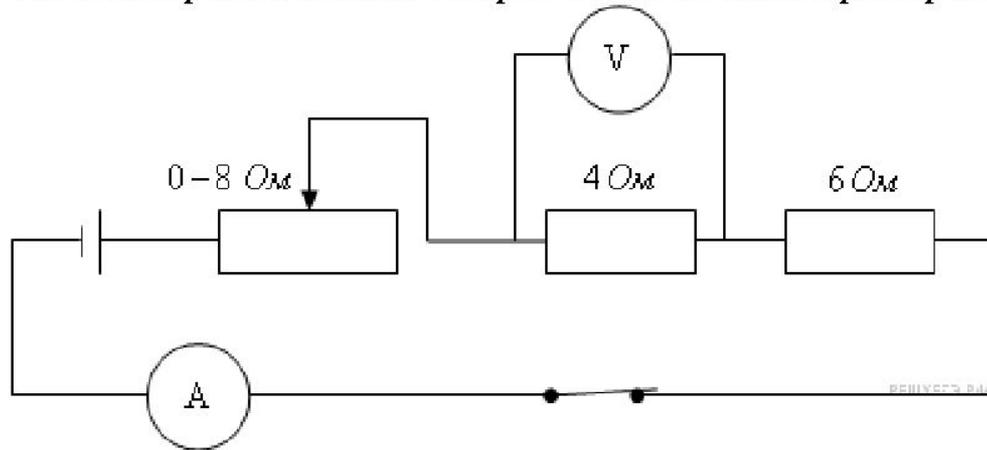
Решение.

После замыкания ключа клеммы окажутся закороченными.



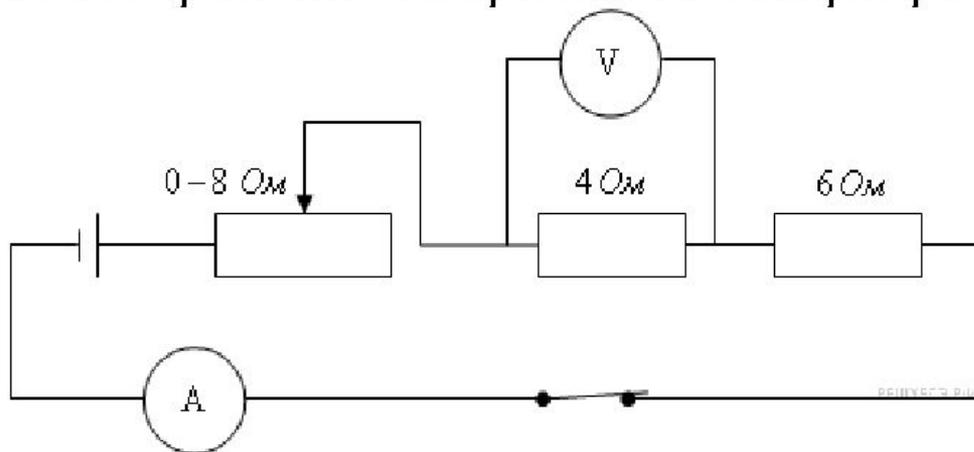
Полное сопротивление участка при замкнутом ключе K равно 0 .

На рисунке представлена электрическая цепь. Амперметр и вольтметр считайте идеальными. Вольтметр показывает напряжение 2 В . Амперметр показывает силу тока



- 1) $0,2\text{ A}$
- 2) $0,5\text{ A}$
- 3) $0,8\text{ A}$
- 4) $1,2\text{ A}$

На рисунке представлена электрическая цепь. Амперметр и вольтметр считайте идеальными. Вольтметр показывает напряжение 2 В . Амперметр показывает силу тока



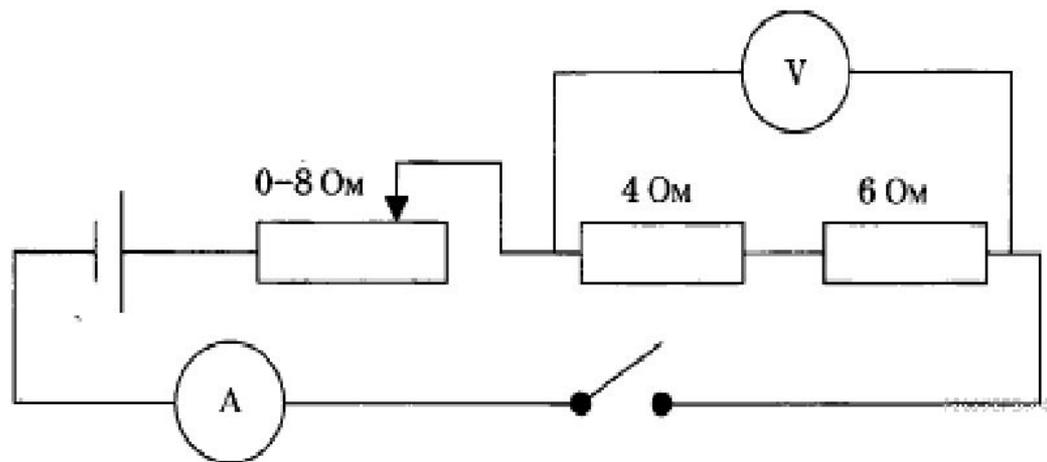
- 1) $0,2\text{ А}$
- 2) $0,5\text{ А}$
- 3) $0,8\text{ А}$
- 4) $1,2\text{ А}$

Решение.

Реостат, два резистора с сопротивлениями 4 Ом и 6 Ом и амперметр подключены последовательно, а значит, через них течет одинаковый ток. Используя закон Ома для участка цепи, опреде-

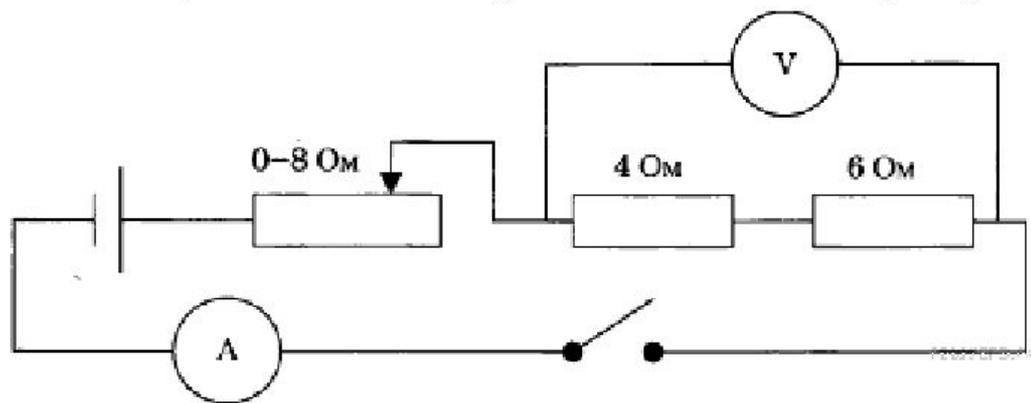
лим силу тока, текущего через резистор с сопротивлением 4 Ом :
$$I = \frac{U}{R} = \frac{2\text{ В}}{4\text{ Ом}} = 0,5\text{ А}$$
. Именно такую силу тока и показывает амперметр.

На рисунке представлена электрическая цепь. Амперметр и вольтметр считайте идеальными. Вольтметр показывает напряжение 12 В. Амперметр показывает силу тока



- 1) 0,2 A
- 2) 0,5 A
- 3) 0,8 A
- 4) 1,2 A

На рисунке представлена электрическая цепь. Амперметр и вольтметр считайте идеальными. Вольтметр показывает напряжение 12 В. Амперметр показывает силу тока

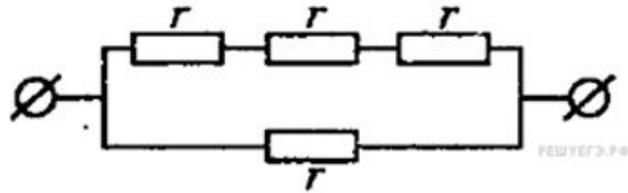


- 1) 0,2 А
- 2) 0,5 А
- 3) 0,8 А
- 4) 1,2 А

Решение.

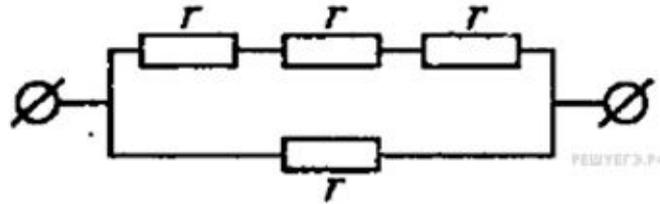
Реостат, два резистора с сопротивлениями 4 Ом и 6 Ом и амперметр подключены последовательно, а значит, через них течет одинаковый ток. Вольтметр подключен к участку цепи, представляющему собой последовательное соединение двух резисторов. Общее сопротивление этого участка цепи равно $R = 4 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}$. Используя закон Ома, определим силу тока, текущего через резисторы:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{12 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 1,2 \text{ А}$$
 Именно такую силу тока и показывает амперметр.



Каково сопротивление изображённого на рисунке участка цепи, если сопротивление каждого резистора r ?

- 1) $\frac{3r}{2}$
- 2) $\frac{3r}{4}$
- 3) $4r$
- 4) $\frac{4r}{3}$



Каково сопротивление изображённого на рисунке участка цепи, если сопротивление каждого резистора r ?

- 1) $\frac{3r}{2}$
- 2) $\frac{3r}{4}$
- 3) $4r$
- 4) $\frac{4r}{3}$

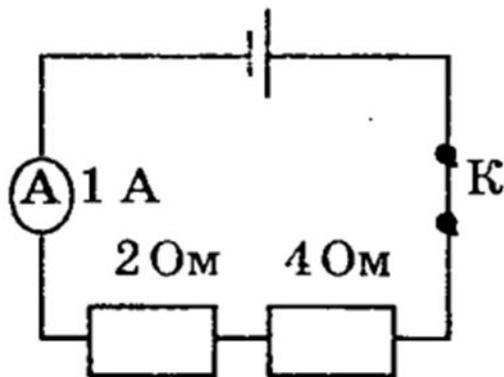
Решение.

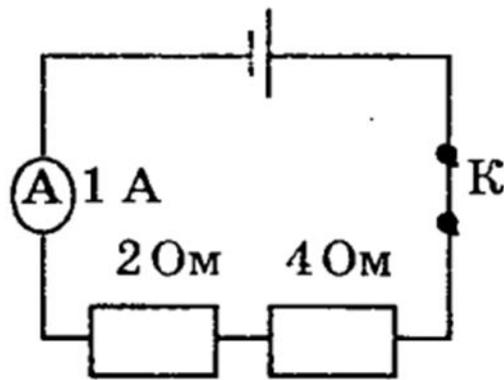
Участок цепи представляет собой три последовательно соединенных резистора, к которым параллельно подсоединен еще один такой же резистор. Следовательно, сопротивление всего участка равно

$$\frac{(r+r+r)r}{(r+r+r)+r} = \frac{3}{4}r$$

Ученик собрал электрическую цепь, изображенную на рисунке. Какая энергия выделится во внешней части цепи при протекании тока в течение 10 мин? Необходимые данные указаны на схеме. Амперметр считать идеальным.

- 1) 600 Дж
- 2) 21 600 Дж
- 3) 36 кДж
- 4) 3600 Дж





РЕШЕГЭ.РФ

Ученик собрал электрическую цепь, изображенную на рисунке. Какая энергия выделится во внешней части цепи при протекании тока в течение 10 мин? Необходимые данные указаны на схеме. Амперметр считать идеальным.

- 1) 600 Дж
- 2) 21 600 Дж
- 3) 36 кДж
- 4) 3600 Дж

Решение.

Согласно закону Джоуля-Ленца, энергия выделяющаяся за время t при протекании через сопротивление величиной R тока I равна $Q = I^2 R t$. На схеме ученика резисторы 2 Ом и 4 Ом соединены последовательно, а значит, их общее сопротивление равно $2 + 4 = 6$ Ом. Сила тока равна 1 А. Таким образом, во внешней цепи за 10 минут выделится $Q = (1 \text{ А})^2 \cdot 6 \text{ Ом} \cdot (10 \cdot 60 \text{ с}) = 3600 \text{ Дж}$

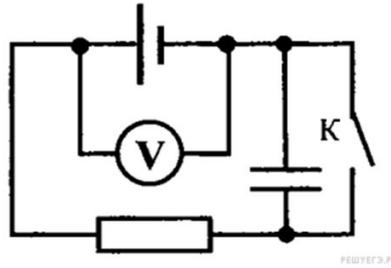


Схема электрической цепи показана на рисунке. Когда ключ К разомкнут, идеальный вольтметр показывает 8 В. При замкнутом ключе вольтметр показывает 7 В. Сопротивление внешней цепи равно 3,5 Ом. Чему равно ЭДС источника тока?

- 1) 7 В
- 2) 8 В
- 3) 15 В
- 4) 24,5 В

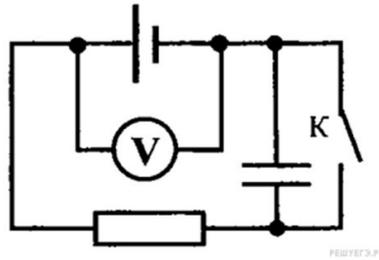
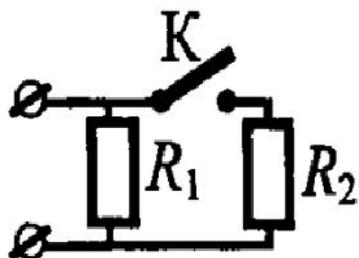


Схема электрической цепи показана на рисунке. Когда ключ К разомкнут, идеальный вольтметр показывает 8 В. При замкнутом ключе вольтметр показывает 7 В. Сопротивление внешней цепи равно 3,5 Ом. Чему равно ЭДС источника тока?

- 1) 7 В
- 2) 8 В
- 3) 15 В
- 4) 24,5 В

Решение.

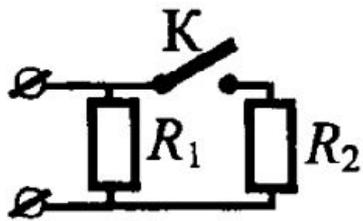
Поскольку показания вольтметра, подсоединенного к источнику меняются при замыкании ключа, это означает, что источник не идеальный, и его внутренне сопротивление отлично от нуля. Показания во втором случае меньше, так как через источник начинает течь ток, и часть напряжения падает на внутреннем сопротивлении. В первом же случае, тока в сети нет. Более точно говоря, ток был, пока происходила зарядка конденсатора, но после того, как конденсатор зарядился, ток прекратился. А значит, в первом случае, вольтметр показывает ЭДС источника. Она равна 8 В.



РЕЗУЛЬТАТ

На рисунке изображена схема электрической цепи. Что произойдет с общим сопротивлением цепи при замыкании ключа K ? Сопротивление цепи

- 1) увеличится при любых значениях R_1 и R_2
- 2) уменьшится при любых значениях R_1 и R_2
- 3) уменьшится, только если $R_1 > R_2$
- 4) увеличится, только если $R_1 < R_2$



На рисунке изображена схема электрической цепи. Что произойдет с общим сопротивлением цепи при замыкании ключа К? Сопротивление цепи

- 1) увеличится при любых значениях R_1 и R_2
- 2) уменьшится при любых значениях R_1 и R_2
- 3) уменьшится, только если $R_1 > R_2$
- 4) увеличится, только если $R_1 < R_2$

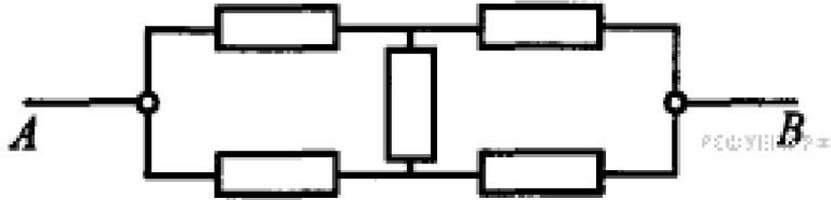
Решение.

При замыкании ключа два резистора окажутся подключенными параллельно. При параллельном соединении двух резисторов общее сопротивление всегда меньше, чем сопротивление любого из них. Проверим это, например для сопротивления R_1 , для второго проверяется аналогично. Рассмотрим разность

$$R_{\text{общ}} - R_1 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} - R_1 = \frac{R_1 R_2 - R_1 (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2} = -\frac{R_1^2}{R_1 + R_2} < 0$$

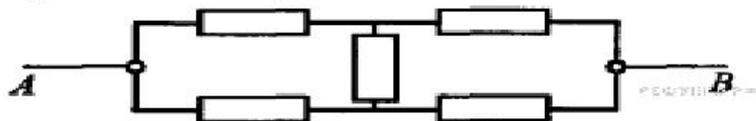
Правильный ответ: 2.

Чему равно сопротивление электрической цепи между точками *A* и *B*, если каждый из резисторов имеет сопротивление *r*?



- 1) $2r$
- 2) $4r$
- 3) $5r$
- 4) r

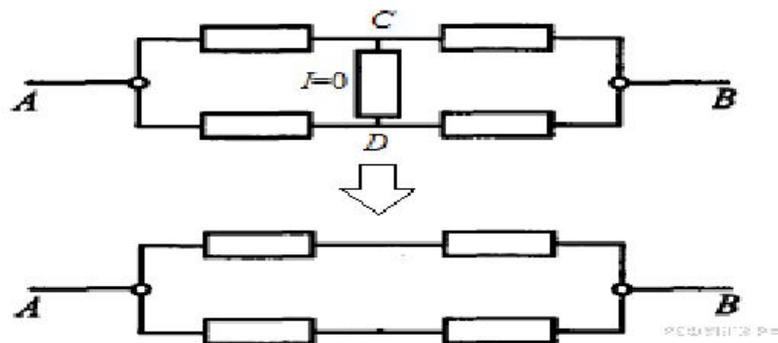
Чему равно сопротивление электрической цепи между точками A и B , если каждый из резисторов имеет сопротивление r ?



- 1) $2r$
- 2) $4r$
- 3) $5r$
- 4) r

Решение.

Поскольку все резисторы одинаковые, из симметрии схемы заключаем, что потенциалы точек C и D равны $\varphi_C = \varphi_D$, а значит, ток по вертикальной перемычке по закону Ома, не потечет (так как напряжение на ней равно нулю: $U_{CD} = \varphi_C - \varphi_D = 0$) и ее можно выбросить из рассмотрения и не учитывать при подсчете общего сопротивления (так как что с ней, что без нее, ток течет всегда одинаково). Этот факт можно понять еще следующим образом. Предположим, что ток течет по перемычке вниз, "перевернем" всю схему вокруг горизонтальной оси, ток в перемычке теперь будет течь вверх, но сама схема не поменялась, значит в ней ток должен быть такой же, как до переверота. Единственный вариант удовлетворить этому требованию, потребовать, чтобы ток в перемычке был равен нулю.

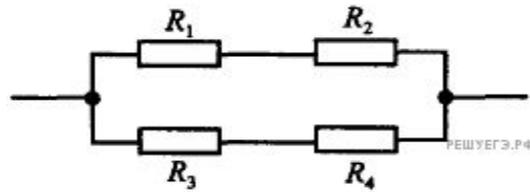


Таким образом, мы переходим к более простой схеме, ее общее сопротивление можно легко посчитать, используя правила для последовательного и параллельного подключения проводников:

$$R = \frac{(r+r) \cdot (r+r)}{(r+r) + (r+r)} = r$$

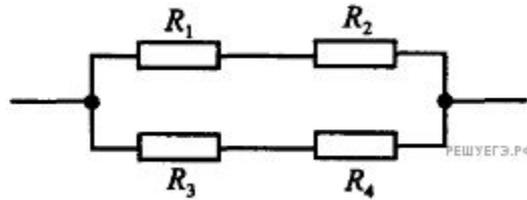
Если бы сопротивления были бы разными, то приведенные здесь аргументы потеряли бы силу и пришлось бы искать общее сопротивление первоначальной схемы, используя законы Кирхгофа.

Правильный ответ: 4.



Какое из неравенств верно отображает соответствие между мощностями, выделяющимися на резисторах $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$; $R_2 = 2,5 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$?

- 1) $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$
- 2) $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$
- 3) $P_1 < P_3 < P_4 < P_2$
- 4) $P_1 < P_4 < P_3 < P_2$



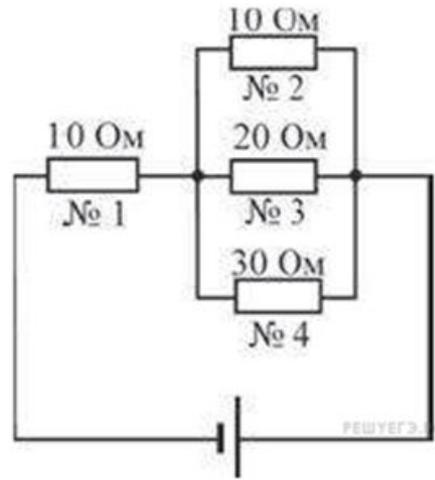
Какое из неравенств верно отображает соответствие между мощностями, выделяющимися на резисторах $R_1 = 0,5 \text{ Ом}$; $R_2 = 2,5 \text{ Ом}$; $R_3 = 1 \text{ Ом}$; $R_4 = 2 \text{ Ом}$?

- 1) $P_1 < P_2 < P_3 < P_4$
- 2) $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$
- 3) $P_1 < P_3 < P_4 < P_2$
- 4) $P_1 < P_4 < P_3 < P_2$

Решение.

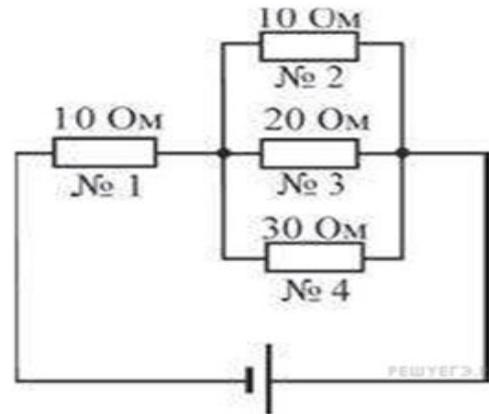
Сперва заметим, что полные сопротивления верхней и нижней ветвей схемы совпадают: $R_1 + R_2 = R_3 + R_4 = 3 \text{ Ом}$. Следовательно, ток разделится между этими ветвями ровно пополам. Таким образом, через все сопротивления течет одинаковый ток. Мощность, выделяющаяся на резисторе, связана с силой тока, текущего через него и величиной сопротивления соотношением $P = I^2 R$. Следовательно, чем меньше сопротивление, тем меньше выделяющаяся на нем мощность. Поскольку $R_1 < R_3 < R_4 < R_2$, заключаем, что $P_1 < P_3 < P_4 < P_2$.

Правильный ответ: 3.



На рисунке показана схема электрической цепи. Через какой резистор течет наибольший ток?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



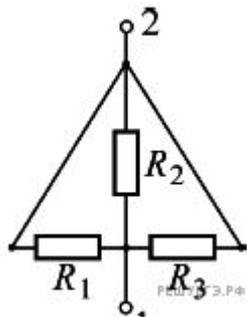
На рисунке показана схема электрической цепи. Через какой резистор течет наибольший ток?

- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

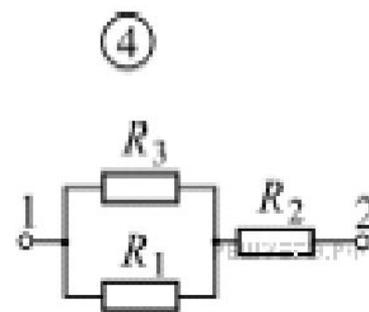
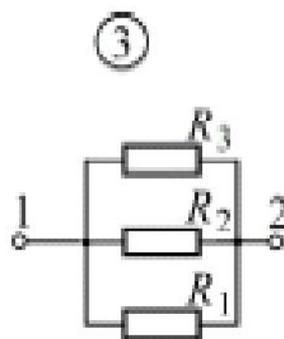
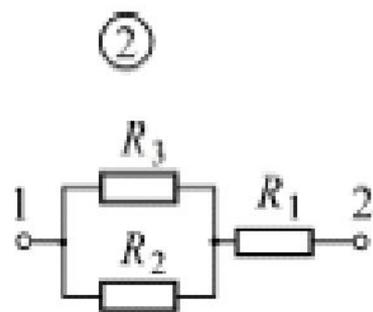
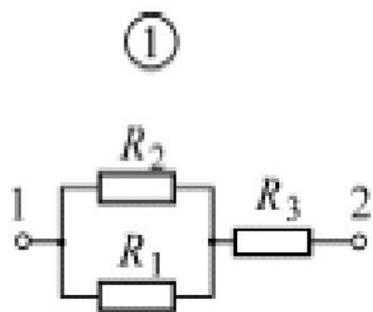
Решение.

Схема представляет собой параллельное соединение резисторов №2, №3 и №4, к которым последовательно подключен резистор №1. При последовательном подключении сила тока одинаковая. При параллельном соединении сила тока делится между резисторами таким образом, чтобы напряжения на всех резисторах было одинаково. Следовательно, максимальный ток течет через резистор №1.

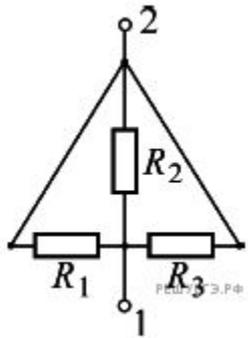
Правильный ответ: 1.



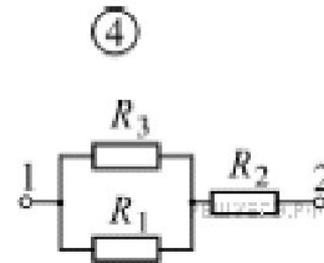
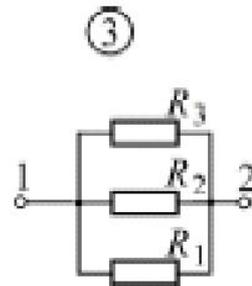
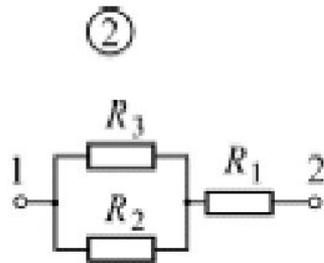
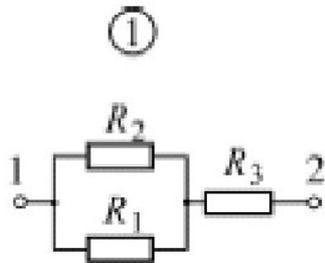
На рисунке изображена схема участка электрической цепи, состоящего из трёх резисторов R_1 , R_2 , R_3 . На каком из следующих рисунков приведена электрическая схема этого участка цепи, эквивалентная заданной?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



На рисунке изображена схема участка электрической цепи, состоящего из трёх резисторов R_1 , R_2 , R_3 . На каком из следующих рисунков приведена электрическая схема этого участка цепи, эквивалентная заданной?

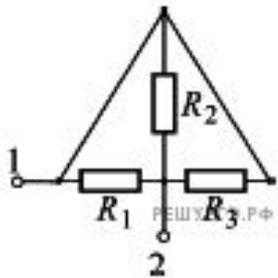


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Решение.

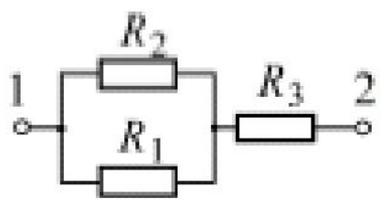
Представим, что мы изгибаем провода схемы, так чтобы получился один из приведённых выше рисунков. При таких преобразованиях получим, что приведённая схема эквивалентна схеме, указанной под номером 3.

Правильный ответ указан под номером: 3.

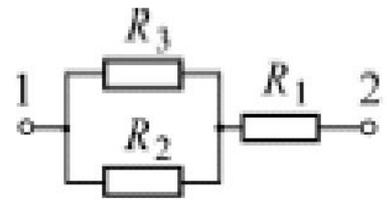


На рисунке изображена схема участка электрической цепи, состоящего из трёх резисторов R_1 , R_2 , R_3 . На каком из следующих рисунков приведена электрическая схема этого участка цепи, эквивалентная заданной?

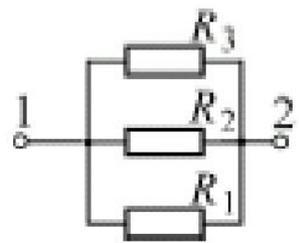
①



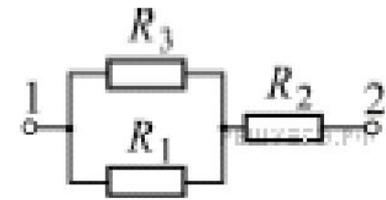
②



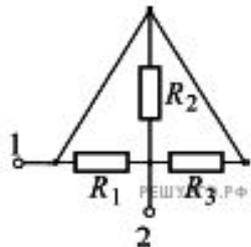
③



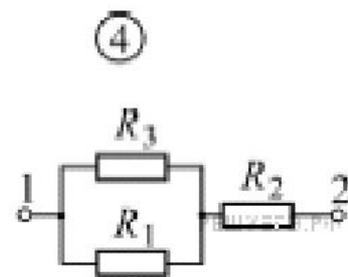
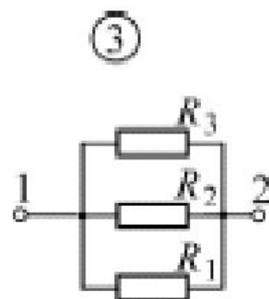
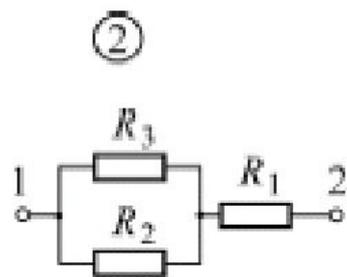
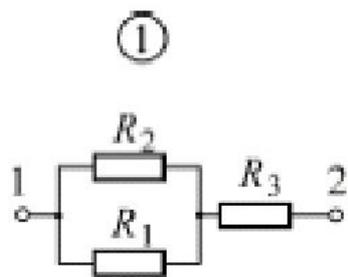
④



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



На рисунке изображена схема участка электрической цепи, состоящего из трёх резисторов R_1 , R_2 , R_3 . На каком из следующих рисунков приведена электрическая схема этого участка цепи, эквивалентная заданной?

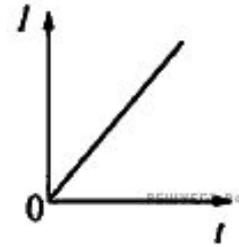


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

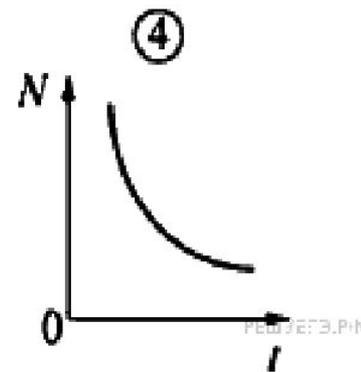
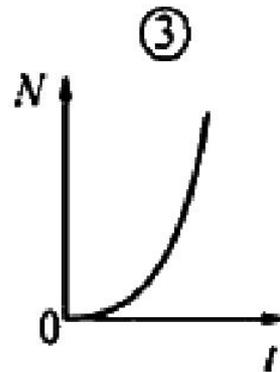
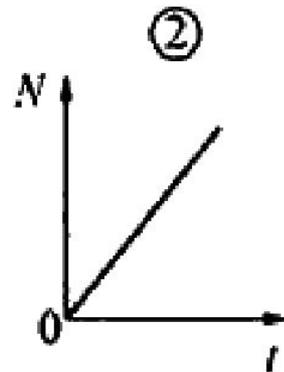
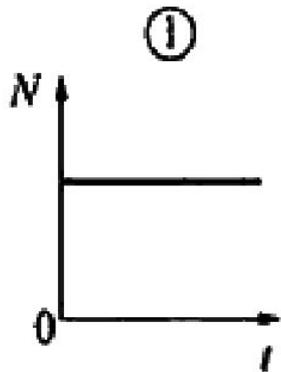
Решение.

Представим, что мы изгибаем провода схемы, так чтобы получился один из приведённых выше рисунков. При таких преобразованиях получим, что приведённая схема эквивалентна схеме, указанной под номером 3.

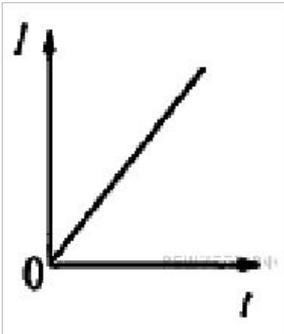
Правильный ответ указан под номером: 3.



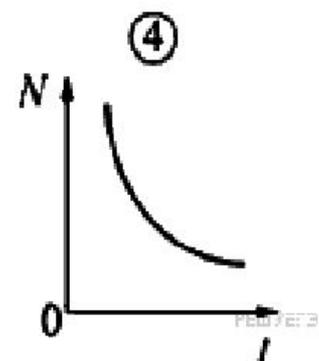
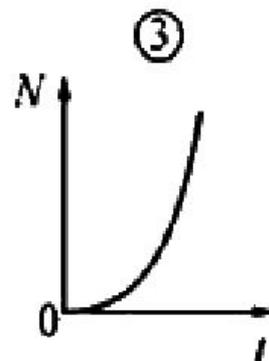
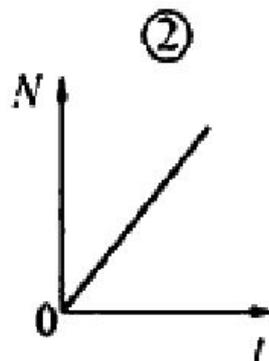
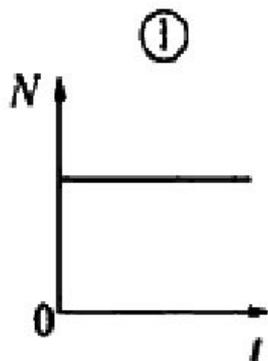
На рисунке изображён график зависимости силы тока I , протекающего через резистор, от времени t . На каком из следующих графиков правильно показана зависимость мощности N , выделяющейся в этом резисторе, от времени?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



На рисунке изображён график зависимости силы тока I , протекающего через резистор, от времени t . На каком из следующих графиков правильно показана зависимость мощности N , выделяющейся в этом резисторе, от времени?

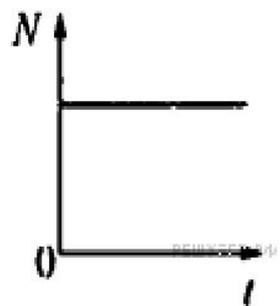


- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

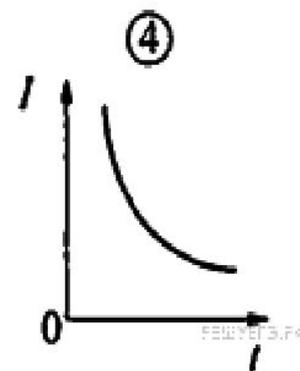
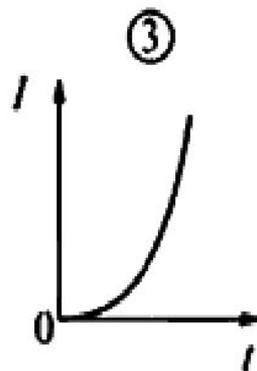
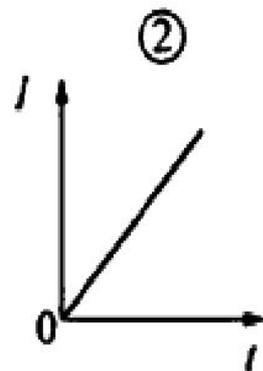
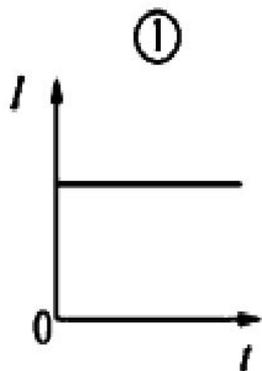
Решение.

Мощность N , выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля-Ленца, равна $I^2 R$. Поскольку сила тока возрастает линейно со временем, мощность должна возрастать квадратично.

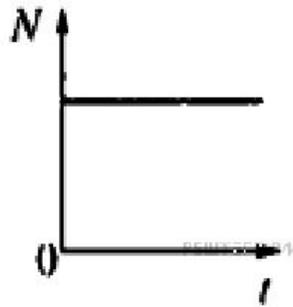
Правильный ответ указан под номером 3.



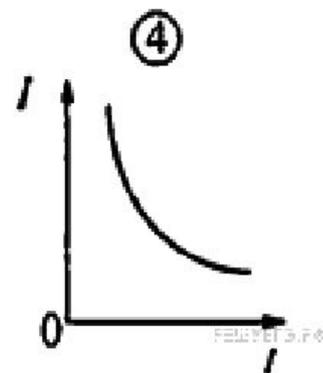
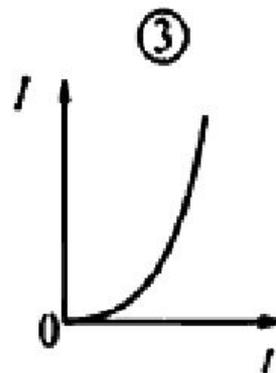
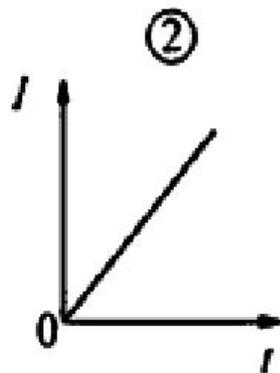
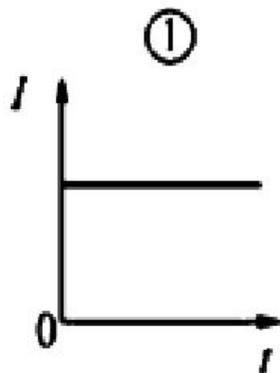
На рисунке изображён график зависимости мощности N , выделяющейся в резисторе, от времени t . На каком из следующих графиков правильно показана зависимость силы тока I , протекающего через этот резистор, от времени?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4



На рисунке изображён график зависимости мощности N , выделяющейся в резисторе, от времени t . На каком из следующих графиков правильно показана зависимость силы тока I , протекающего через этот резистор, от времени?



- 1) 1
- 2) 2
- 3) 3
- 4) 4

Решение.

Мощность N , выделяющаяся в резисторе, по закону Джоуля-Ленца, равна $I^2 R$. Поскольку мощность постоянна, то сила тока в резисторе также должна быть постоянна.

Правильный ответ указан под номером 1.

- Удельное электрическое сопротивление, или просто удельное сопротивление вещества — физическая величина, характеризующая способность вещества препятствовать прохождению электрического тока.

Электрическое сопротивление однородного проводника с удельным сопротивлением ρ , длиной l и площадью поперечного сечения S может быть рассчитано по

формуле $R = \frac{\rho \cdot l}{S}$ (при этом предполагается, что ни площадь, ни форма поперечного сечения не меняются вдоль проводника). Соответственно, для ρ выполняется $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$.

Из последней формулы следует: физический смысл удельного сопротивления вещества заключается в том, что оно представляет собой сопротивление изготовленного из этого вещества однородного проводника единичной длины и с единичной площадью поперечного сечения.

Резистор сопротивлением R подключают к источнику постоянного напряжения с ЭДС E и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Если этот же резистор подключить к другому источнику постоянного напряжения с такой же ЭДС и с внутренним сопротивлением $r = 4R$, то мощность, выделяющаяся в этом резисторе по отношению к мощности, выделяющейся при первом подключении,

- 1) уменьшится в 5 раз
- 2) уменьшится в 4 раза
- 3) увеличится в 4 раза

- 4) уменьшится в 25 раз

Резистор сопротивлением R подключают к источнику постоянного напряжения с ЭДС E и пренебрежимо малым внутренним сопротивлением. Если этот же резистор подключить к другому источнику постоянного напряжения с такой же ЭДС и с внутренним сопротивлением $r = 4R$, то мощность, выделяющаяся в этом резисторе по отношению к мощности, выделяющейся при первом подключении,

- 1) уменьшится в 5 раз
- 2) уменьшится в 4 раза
- 3) увеличится в 4 раза
- 4) уменьшится в 25 раз

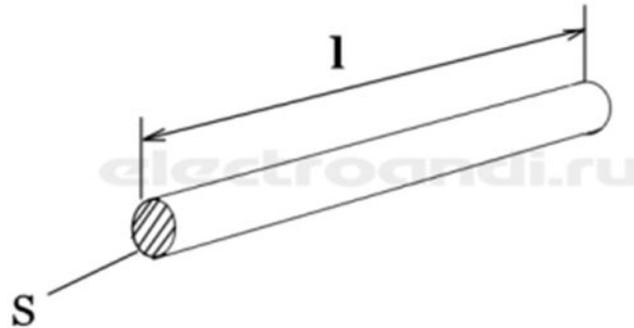
Решение.

Рассчитаем мощность, выделяющуюся в резисторе в первом и во втором случае, найдём их отношение:

$$P_1 = U_1 I_1 = R I_1^2 = R \frac{\epsilon^2}{R^2} = \frac{\epsilon^2}{R},$$
$$P_2 = U_2 I_2 = R I_2^2 = R \frac{\epsilon^2}{(R + 4R)^2} = \frac{\epsilon^2}{25R},$$
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{25}.$$

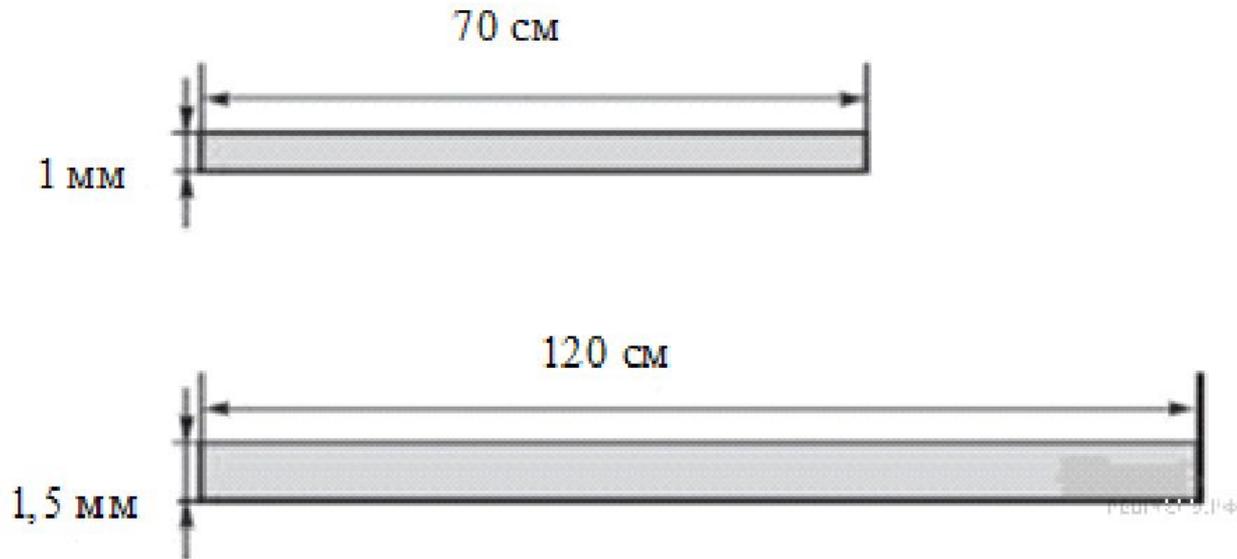
Правильный ответ указан под номером: 4.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



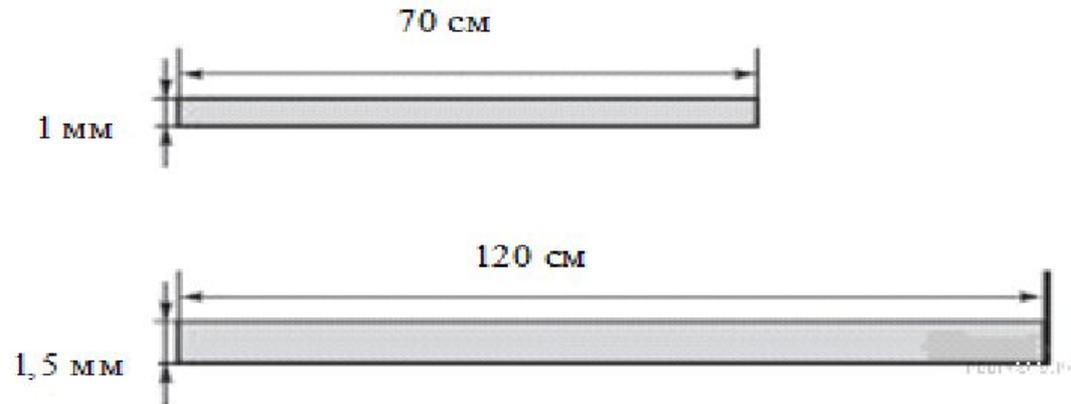
где ρ – удельное сопротивление металла, l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения.

Два куска круглой медной проволоки, показанные на рисунке, подсоединены параллельно к одной и той же батарее. Через какую из проволок потечёт меньший ток?



- 1) через первую
- 2) через вторую
- 3) через обе проволоки потечёт одинаковый ток
- 4) однозначно сказать нельзя, так как ответ зависит от ЭДС батарейки

Два куска круглой медной проволоки, показанные на рисунке, подсоединены параллельно к одной и той же батарее. Через какую из проволок потечёт меньший ток?



- 1) через первую
- 2) через вторую
- 3) через обе проволоки потечёт одинаковый ток
- 4) однозначно сказать нельзя, так как ответ зависит от ЭДС батареи

Решение.

Сопротивление проводника прямо пропорционально его длине и обратно пропорционально

площади поперечного сечения: $R = \rho \frac{l}{S}$. Обе проволоки сделаны из меди, поэтому удельное сопротивление ρ для них одинаково. Для первой проволоки

имеем:
$$R_1 = \rho \frac{l}{\pi D^2/4} = \frac{4\rho}{\pi} \cdot \frac{0,7 \text{ м}}{(1 \text{ мм})^2} = 0,7 \frac{4\rho}{\pi} \cdot \frac{\text{м}}{\text{мм}^2}$$

Для второй:
$$R_2 = \frac{4\rho}{\pi} \cdot \frac{1,2 \text{ м}}{(1,5 \text{ мм})^2} \approx 0,53 \frac{4\rho}{\pi} \cdot \frac{\text{м}}{\text{мм}^2}$$

Таким образом, сопротивление второй проволоки меньше. При параллельном соединении, чем меньше сопротивление проводника, тем большая часть тока по нему течет (произведение силы тока на сопротивление для всех параллельно соединенных проводников должно совпадать). Следовательно, меньший ток потечет через первую проволоку.

Правильный ответ: 1.