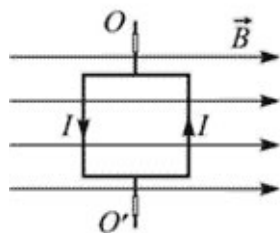
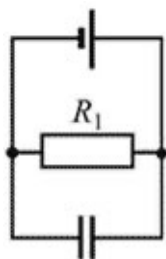


Реальные задачи. Электромагнетизм. Часть «С».



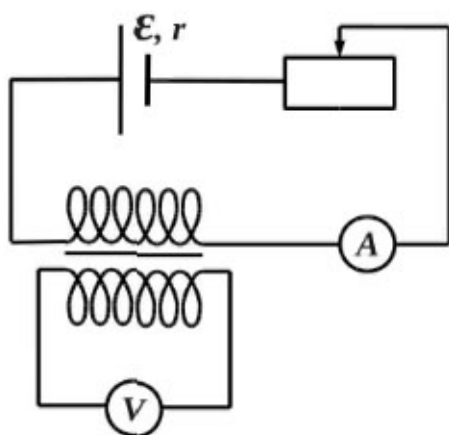
2011 год. 01-2 вариант. С4.

Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой I , может вращаться вокруг вертикальной оси OO' , закрепленной в подшипниках. При вращении рамки на нее действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией B (см. рисунок). (Решение)



2011 год. 01-2 вариант. С4.

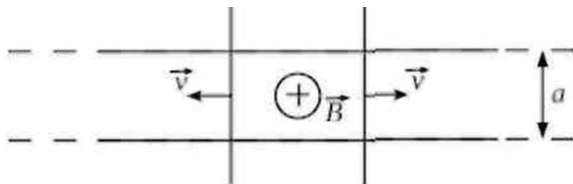
В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивление резистора равно $R_1 = 4$ Ом. После того, как этот резистор заменили другим, имеющим сопротивление $R_2 = 1$ Ом, модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора уменьшился в $n = 2$ раза. Найдите внутреннее сопротивление батареи. (Решение)



2010 год. 105 вариант. С1.

На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе

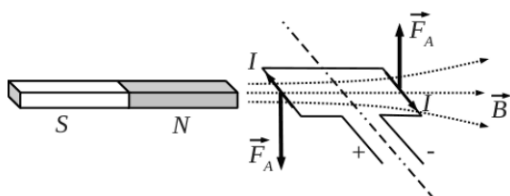
перемещения ползунка реостата вправо. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению с ЭДС источника. (Решение)



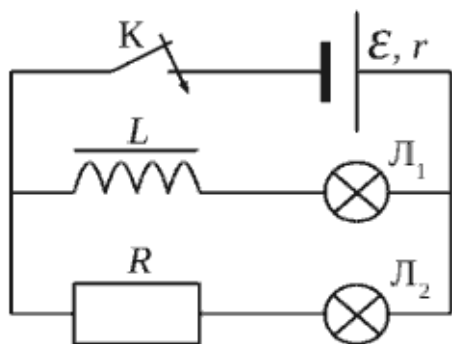
2010 год 12 вариант С5

Два параллельных рельса расположены на расстоянии $a = 1$ м друг от друга в горизонтальной плоскости в однородном вертикальном магнитном поле (см. рисунок). Рельсы замкнуты перемычками, которые, сохраняя с ними надежный контакт, движутся в противоположные стороны с одинаковой по величине скоростью $v = 2$ м/с. Сопротивление каждой из перемычек $R = 2$ Ом, а сопротивление рельсов пренебрежимо мало. Какова индукция магнитного поля, если сила тока, текущего по перемычкам, $I = 0,1$ А? (Решение)

2010 год 101 вариант С1



Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рисунок). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси МО, если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха. (Решение)



2009 год 320 вариант С1

Две одинаковые лампы Л1 и Л2 подключены к источнику тока, одна - последовательно

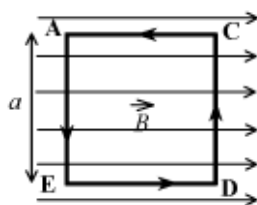
с катушкой индуктивности L с железным сердечником, а другая - последовательно с резистором R (см. рисунок). Первоначально ключ K разомкнут. Опишите разницу в работе лампочек при замыкании ключа K . Каким явлением вызвана эта разница? (Решение)

2009 год 108 вариант С4

Электрическая цепь состоит из источника тока с конечным внутренним сопротивлением и реостата. ЭДС источника $E = 6$ В. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность тока, выделяемая на реостате, если она достигается при сопротивлении реостата $R = 2$ Ом? (Решение)

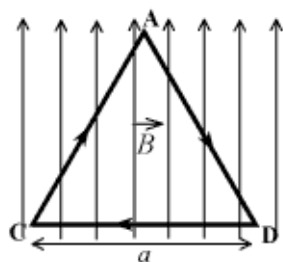
2009 год 115 вариант С5

Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, магнитное индукция которого меняется по модулю со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Чему равен диаметр кольца, если возникающий в нем индукционный ток равен 10 А? Удельное сопротивление меди $\rho_{Cu} = 1,72 \cdot 10^{-8}$ Ом·м. (Решение)



2009 год 134 вариант С5

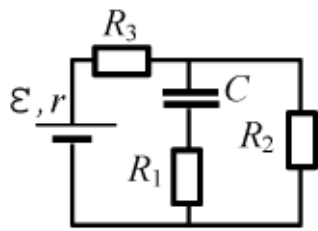
На непроводящей горизонтальной поверхности лежит проводящая жесткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в форме квадрата $ACDE$ со стороной, равной a (см. рисунок). Рамка, по которой течет ток I , находится в магнитном поле, вектор индукции B которого направлен перпендикулярно сторонам AE и CD . При каком значении модуля вектора магнитной индукции поля, чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD , если масса рамки m ? (Решение)



2009 год 133 вариант С5

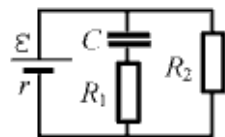
На непроводящей горизонтальной поверхности лежит проводящая жесткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в форме равностороннего треугольника ACD со стороной, равной a (см. рисунок). Рамка, по которой течет ток I , находится в магнитном поле, вектор индукции B которого направлен перпендикулярно стороне CD . Каким должен быть модуль вектора магнитной индукции поля, чтобы рамка начала

поворачиваться вокруг стороны CD, если масса рамки m ? (Решение)



2009 год 144 вариант С4

В схеме на рисунке электрический заряд Q на обкладках конденсатора емкостью $C = 1000$ мкФ равен 10 мКл. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 10$ Ом, а сопротивление резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом, $R_3 = 30$ Ом. Какова ЭДС источника тока. (Решение)

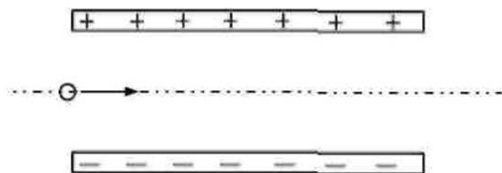


2009 год 133 вариант С4

Напряженность электрического поля плоского конденсатора (см. рисунок) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 10$ Ом, ЭДС = 30 В, сопротивления $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Найдите расстояние между пластинами. (Решение)

2009 год 305 вариант С4

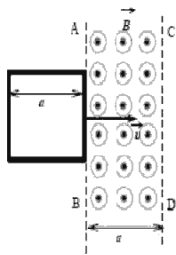
Плоская горизонтальная фигура площадью $S = 0,1$ м², ограниченная проводящим контуром, имеющим сопротивление $R = 5$ Ом, находится в однородном магнитном поле. Какой заряд протечёт по контуру за большой промежуток времени, пока проекция вектора магнитной индукции на вертикаль равномерно меняется с $B_{1z} = 2$ Тл до $B_{2z} = -2$ Тл? (Решение)



2009 год 302 вариант С4

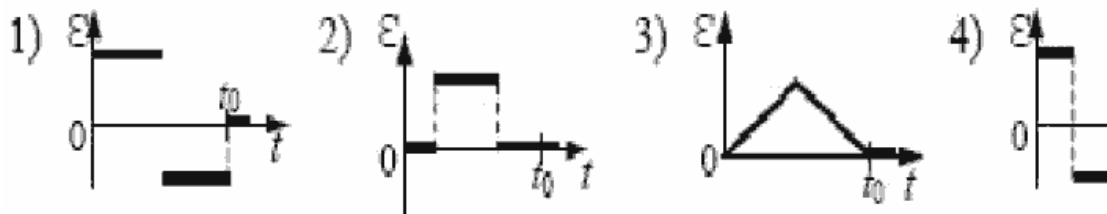
Электрон влетает в пространство между двумя разноименно заряженными пластинами плоского конденсатора со скоростью v_0 ($v_0 \ll c$) параллельно пластинам (см. рисунок). Расстояние между пластинами d , длина пластин L ($L \gg d$), разность потенциалов между пластинами $\Delta\phi$. Определите скорость электрона при вылете из

конденсатора. (Решение)

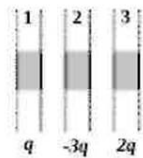


2009 год 155 вариант A19

В некоторой области пространства, ограниченной плоскостями АВ и CD, создано однородное магнитное поле. Металлическая квадратная рамка движется с постоянной скоростью, направленной вдоль плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции поля. На каком из графиков правильно показана зависимость от времени ЭДС индукции в рамке, если в начальный момент времени передняя сторона рамки пересекла плоскость АВ (см. рисунок), а в момент времени t_0 задняя сторона рамки пересекла плоскость CD. (Решение)



2009 год. 153 вариант. С5

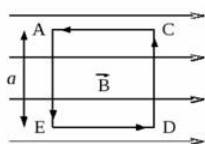


Простой колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 1$ мкФ и катушку индуктивности $L = 0,01$ Гн. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре увеличилась на $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4$ с⁻¹? (Решение)

2009 год. 181 вариант. С1

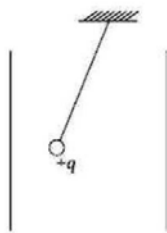
На трёх параллельных металлических пластинах большой площади располагаются заряды, указанные на рисунке. Какой заряд находится на левой плоскости первой пластины? (Решение)

2009 год 45 вариант С5



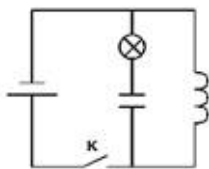
На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит

проводящая жёсткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата ACDE со стороной a (см. рисунок). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции B которого перпендикулярен сторонам AE и CD и равен по модулю B . По рамке против часовой стрелки протекает ток I . При каком значении массы рамки она начнёт поворачиваться вокруг стороны CD? (Решение)



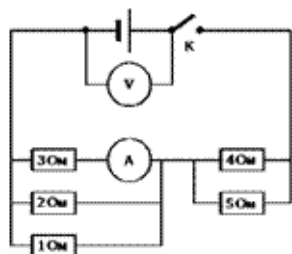
2008 год. 01 вариант. С3

Маленький шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-7}$ 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? (Решение)



2008 год. 05205941 вариант. С4

В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока соответственно равны 3 В и 0,5 Ом; емкость конденсатора 2 мФ; индуктивность катушки 2 мГн. В начальный момент времени ключ К замкнут. Какая энергия выделится в лампе после размыкания ключа? Сопротивлением катушки и проводов пренебречь. (Решение)



2008 год. 116 вариант. С3

До замыкания ключа К на схеме (см. рисунок) идеальный вольтметр V показывал напряжение 9 В. После замыкания ключа идеальный амперметр A показывает силу тока 0,4 А. Каково внутреннее сопротивление батареи? Сопротивления резисторов указаны на рисунке. (Решение)

2007 год. 108 вариант. С3

Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при различных положениях ползунка реостата (см. фотографию). Определите силу тока короткого замыкания батарейки. (Решение)

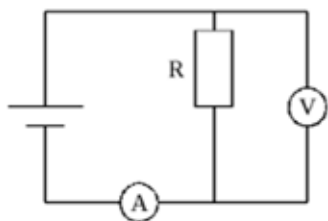
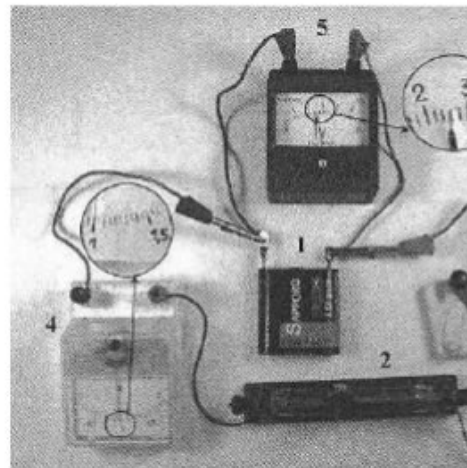
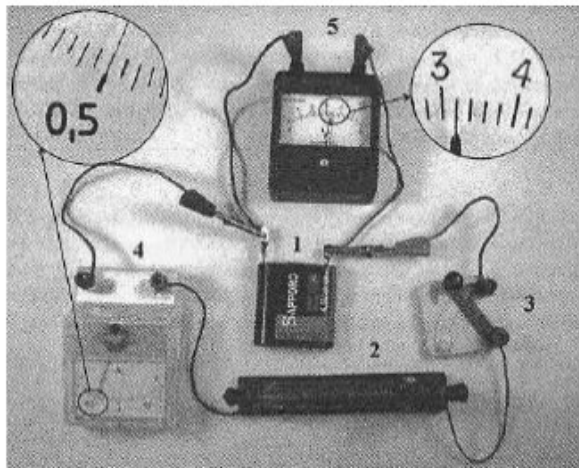


Схема 1

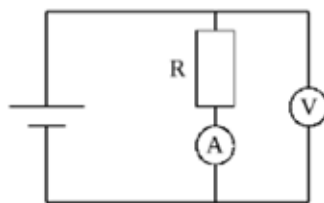
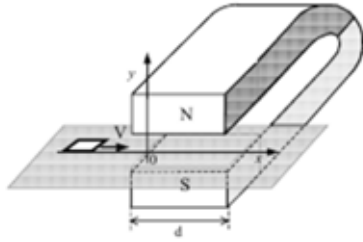


Схема 2

2007 год. 105 вариант. С3

Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рисунок). Сопротивление резистора равно R , сопротивление амперметра $R/100$, сопротивление вольтметра $9R$. Каковы показания амперметра в первой схеме, если во второй схеме они равны I_2 ? (Решение)



2006 год. 80 вариант. С6

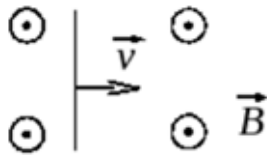
Квадратную рамку из медной проволоки со стороной $b = 5$ см перемещают вдоль оси Ox по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . Чему равно сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения равна $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1$ Тл. (Решение)

2006 год. 62 вариант. С4

Плоская катушка диаметром 6 см, состоящая из 120 витков, находится в однородном магнитном поле, индукция которого $6 \cdot 10^{-2}$ Тл. Катушка поворачивается вокруг оси, перпендикулярной линиям индукции, на угол 180° за 0,2 с. Плоскость катушки до и после поворота перпендикулярна линиям индукции поля. Чему равно среднее значение ЭДС индукции, возникающей в катушке? (Решение)

2006 год. 38 вариант. С3

По однородному цилиндрическому алюминиевому проводнику сечением $2 \cdot 10^{-6}$ м² пропустили ток 10 А. Определите изменение его температуры за 15 с. Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление алюминия $2,5 \cdot 10^{-8}$ Ом·м.) (Решение)



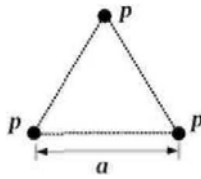
2006 год. 33 вариант. С4

Горизонтально расположенный проводник длиной 1 м движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения (см. рисунок). При начальной скорости проводника, равной нулю, проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна 2 В. Каково ускорение проводника? (Решение)

2005 год. 91 вариант. С3

При подключении к источнику постоянного тока резистора сопротивлением $R_1 = 2$ Ом в цепи идет ток $I_1 = 1,6$ А. Если к источнику подключить резистор сопротивлением $R_2 = 1$ Ом, то по цепи пойдет ток $I_2 = 2$ А. Какое количество теплоты выделяется за 1 с внутри

источника тока при подключении резистора R2? (Решение)

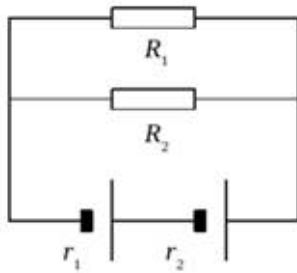


2005 год. 101 вариант. С6

В некоторый момент образовалась система из трёх неподвижных протонов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10^{-3}$ см (см. рисунок). Под действием электрических сил протоны симметрично разлетаются. Определите скорости протонов, когда они окажутся на большом расстоянии друг от друга. Отношение заряда к массе для протона $e/m = 9,6 \times 10^7$ Кл/кг. (Решение)

2005 год. 58 вариант. С6

Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноименно заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряженность поля между пластинами $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 10$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснется одной из пластин? (Решение)



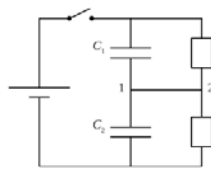
2005 год. 49 вариант. С3

Два последовательно соединённых гальванических элемента с одинаковыми ЭДС (см. рисунок) замкнуты на параллельно соединённые резисторы, сопротивления которых $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 6$ Ом. Внутреннее сопротивление первого элемента $r_1 = 0,8$ Ом. Чему равно внутреннее сопротивление r_2 второго элемента, если напряжение на его зажимах равно нулю? (Решение)

2004 год. 80 вариант. С4

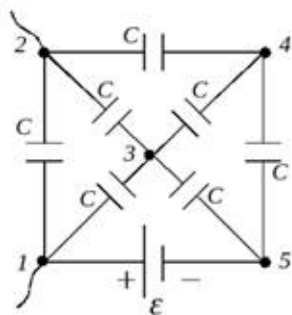
Металлический шар установлен на тонком проводящем стержне, соединяющем его с Землёй. Шар окружен незаряженной металлической сферой, радиусом $r_2 = 10$ см, изолированной от Земли, центр сферы совпадает с центром шара. При передаче сфере электрического заряда $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл между шаром и сферой возникла разность потенциалов $\Delta\phi = \phi_{сф} - \phi_{ш} = 90$ В. Определите радиус r шара. (Решение)

2004 год. 64 вариант. С5



Конденсаторы $C_1 = 10$ мкФ и $C_2 = 20$ мкФ соединены

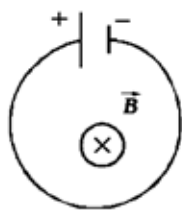
последовательно. Параллельно получившейся цепочке подключают последовательно соединенные одинаковые резисторы $R = 100$ кОм. Точки соединения конденсаторов и резисторов замыкают проводником 1 - 2 (см. рисунок). Всю цепь подключают к батарейке $\epsilon = 10$ В, конденсаторы практически мгновенно заряжаются. Какой заряд протечет по проводнику 1 - 2 за достаточно большое время после замыкания? Элементы цепи считать идеальными. (Решение)



2003 год. 39 вариант. С3

К батарее из 7 одинаковых конденсаторов емкости C (см. рисунок) подключен источник тока с ЭДС ϵ . Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, соединяющего точки 1 и 2? (Решение)

2003 год. 48 вариант. В3



Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем

однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого B перпендикулярен плоскости контура (см. рисунок). Во сколько раз изменится мощность тока в контуре после того, как поле начнет увеличиваться со скоростью $0,01$ Тл/с? Площадь контура $0,1$ м², ЭДС источника тока 10 мВ. (Решение)

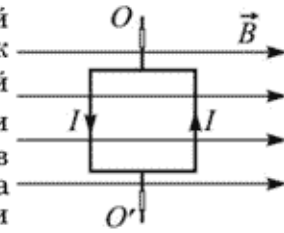
Реальные задачи. Электромагнетизм. Часть «С».

2011 год. 01-2 вариант. С4.

Критерии оценивания заданий с развёрнутым ответом

C1

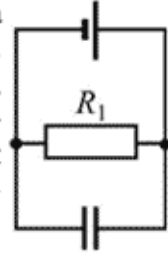
Медная прямоугольная рамка, по которой протекает постоянный электрический ток силой I , может вращаться вокруг вертикальной оси OO' , закреплённой в подшипниках. При вращении рамки на нее со стороны подшипников действуют силы вязкого трения. Опираясь на законы электродинамики и механики, опишите и объясните движение этой рамки после включения однородного магнитного поля с индукцией \vec{B} (см. рисунок).



Решение: В однородном магнитном поле на правую и левую стороны рамки начнут действовать равные по модулю, но противоположно направленные силы Ампера. Сила, действующая на правую сторону рамки, будет направлена перпендикулярно плоскости рисунка "от нас"; сила, действующая на левую сторону рамки, будет направлена перпендикулярно плоскости рисунка "на нас". На верхнюю и нижнюю стороны рамки магнитные силы действовать не будут. Силы, действующие на правую и левую стороны рамки, будут поворачивать рамку, стремясь установить ее плоскость перпендикулярно линиям индукции магнитного поля. Поворачиваясь под действием этих сил, рамка будет разгоняться, и поэтому, повернувшись на угол 90° , она будет обладать некоторой скоростью. По этой причине рамка не остановится, а по инерции продолжит вращаться в том же направлении. Но теперь силы Ампера будут замедлять вращение рамки и она, в конце концов, остановится и под действием сил Ампера начнет вращаться в обратном направлении. Таким образом, возникнут колебания рамки. Из-за действия сил вязкого трения эти колебания будут постепенно затухать. В итоге, когда они окончательно затухнут, рамка окажется в положении устойчивого равновесия, при котором плоскость рамки будет перпендикулярна вектору \vec{B} .

С4

В электрической цепи, схема которой изображена на рисунке, сопротивление резистора равно $R_1 = 4$ Ом. После того, как этот резистор заменили на другой, имеющий сопротивление $R_2 = 1$ Ом, модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора уменьшился в $n = 2$ раза. Найдите внутреннее сопротивление батареи.



Решение: В соответствии с законом Ома для полной цепи сила тока, текущего в цепи, равна $I_1 = \frac{\mathcal{E}}{r + R_1}$, где \mathcal{E} и r – ЭДС и внутреннее сопротивление батареи. По закону Ома для участка цепи напряжение на резисторе R_1 равно $U_1 = I_1 R_1 = \frac{\mathcal{E} R_1}{r + R_1}$. Так как конденсатор подключен параллельно резистору, то напряжение между его пластинами также равно U_1 . Модуль напряженности электрического поля между пластинами плоского конденсатора равен $E_1 = \frac{U_1}{d} = \frac{\mathcal{E} R_1}{d(r + R_1)}$, где d – расстояние между пластинами конденсатора.

Аналогичные рассуждения можно провести и для случая, когда в цепь вместе резистора R_1 включен резистор R_2 . При этом для модуля напряженности электрического поля между пластинами конденсатора получится аналогичное выражение: $E_2 = \frac{\mathcal{E} R_2}{d(r + R_2)}$. Так как по условию задачи $E_1 = n E_2$, то получаем уравнение: $\frac{R_1}{r + R_1} = \frac{n R_2}{r + R_2}$. Отсюда $r = \frac{R_1 R_2 (n - 1)}{R_1 - n R_2}$.

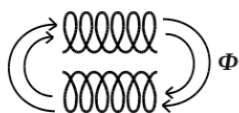
Подставляя числовые данные и проверяя размерность, окончательно получим: $r = 2$ Ом.

Ответ: $r = \frac{R_1 R_2 (n - 1)}{R_1 - n R_2} = 2$ Ом.

2010 год. 105 вариант. С1.

На рисунке приведена электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента, реостата, трансформатора, амперметра и вольтметра. В начальный момент времени ползунок реостата установлен посередине и неподвижен. Опираясь на законы электродинамики, объясните, как будут изменяться показания приборов в процессе перемещения ползунка реостата вправо. ЭДС самоиндукции пренебречь по сравнению

Пока ползунок реостата неподвижен по цепи, включающей первичную обмотку (катушку) трансформатора (1), течёт постоянный ток. По **закону Ома** для замкнутой цепи $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$, где R – текущее внешнее сопротивление цепи. Этот ток показывает амперметр.



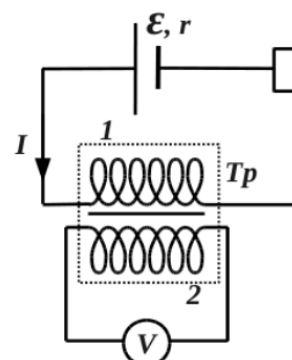
В трансформаторе первичная и вторичная (2) обмотки индуктивно связаны (обычно для усиления этой связи они обе наматываются на один железный или ферритовый сердечник). Когда по первичной обмотке течёт ток, он создаёт в ней **магнитный поток Φ**. Этот поток поля почти весь пронизывает и вторичную обмотку. При этом, если ток в первичной катушке постоянен, то и поток в трансформаторе тоже постоянен и во вторичной обмотке никакой ЭДС не возникает, значит, и напряжения на вольтметре нет и он показывает ноль.

При движении ползунка реостата вправо его **сопротивление** начнёт **увеличиваться** – то есть, увеличиваться и внешнее сопротивление цепи R . Следовательно, **ток** в цепи согласно закону Ома будет **уменьшаться**, так как все остальные величины постоянны (по условию ЭДС самоиндукции пренебречь, поэтому напряжение катушки неизменно). Таким образом, **показания амперметра будут уменьшаться**.

Изменяющийся в первичной обмотке ток вызовет изменение магнитного потока через первичную катушку. Следовательно, во вторичной обмотке по **закону электромагнитной индукции** возникнет ЭДС $\mathcal{E}_{\text{инд}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ (N – это количество витков во вторичной обмотке). И вольтметр будет **показывать** эту ЭДС.

Итак, **ответ**: показания амперметра уменьшатся, а вольтметр начнёт **что-то** показывать.

Но, внимание! По условию надо ответить на вопрос: **КАК** будут меняться показания вольтметра – увеличиваться, уменьшаться или не изменяться – по крайней мере, так думает подавляющее большинство учащихся подобные задачи, – но никак не то, что мы получили. Однако, ответить на этот вопрос очень трудно (для этого как минимум надо знать закон, по которому двигают ползунок). Что же делать? А ничего не делать, именно такой ответ и ожидают увидеть составители этой задачи. Это пример одной из **очень** распространённых в КИМах **некорректных** задач. Здесь трудно посоветовать что-то толковое, можно лишь предложить писать любой ответ, который вы сможете получить. Вдруг он окажется именно тем, которого ожидают увидеть экзаменаторы. ☹



2010 год 12 вариант С5

Два параллельных рельса расположены на расстоянии $a = 1$ м друг от друга в горизонтальной плоскости в однородном вертикальном магнитном поле (см. рисунок). Рельсы замкнуты перемычками, которые, сохраняя с ними надежный контакт, движутся в противоположные стороны с одинаковой по величине скоростью $v = 2$ м/с. Сопротивление каждой из перемычек $R = 2$ Ом, а сопротивление рельсов пренебрежимо мало. Какова индукция магнитного поля, если сила тока, текущего по перемычкам, $I = 0,1$ А? (Решение)

$$a = 1 \text{ м}$$

$$v = 2 \text{ м/с}$$

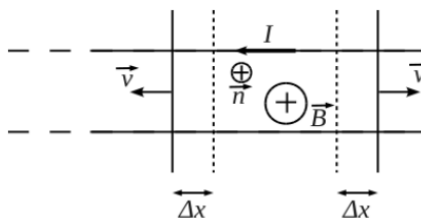
$$R = 2 \text{ Ом}$$

$$I = 0,1 \text{ А}$$

$$B = ?$$

2010 год 12 вариант С5

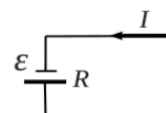
Пусть за время Δt перемычки сместятся на некоторое расстояние $\Delta x = v \Delta t$ (так как **скорости перемычек равны**, то и **расстояние будет одинаковым**). Тогда площадь замкнутого контура, который составляют перемычки и рельсы, увеличится на $\Delta S = 2a \Delta x = 2av \Delta t$. Это приведет к увеличению потока магнитного поля через поверхность, ограниченную этим контуром: $\Delta \Phi = B \Delta S \cos(\alpha) = 2Bav \Delta t$, где α – угол между нормалью к поверхности и вектором индукции. По условию поверхность горизонтальная (так как рельсы расположены горизонтально), змаль к поверхности вертикальна. И магнитное поле вертикально. То есть, $\alpha = 0$ или $\alpha = 180^\circ$, что в чае несущественно (для определённости направим нормаль по полю).



Таким образом, по **закону Фарадея** в контуре возникнет **ЭДС индукции**, модуль кото

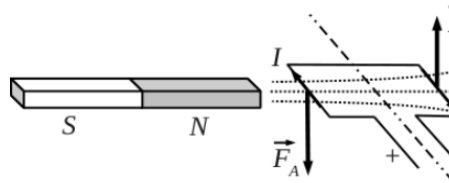
$\mathcal{E} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = 2Bav$. Следовательно, в контуре будет течь ток, равный по **закону Ома** $I = \frac{\mathcal{E}}{2R} = \frac{Bav}{R}$ (еще сопротивление двух перемычек $2R$). Направление тока несущественно, но по **правилу Ленца** то как показано на рисунке. Значит, индукция магнитного поля: $B = \frac{IR}{av} = \frac{0,1 \times 2}{1 \times 2} = 0,1 \text{ Тл}$.

Эту задачу можно решить ещё проще, если вспомнить, что **двигающийся в магнитном поле прямой проводник** создает у себя на концах разность потенциалов $\Delta \varphi = \mathcal{E} = Bav$ (здесь учтено, что проводник движется перпендикулярно себе и магнитному полю) и нарисовать эквивалентную схему, из которой по **закону**



Кирхгофа следует, что $I = \frac{2\mathcal{E}}{2R} = \frac{Bav}{R}$.

Покажем на рисунке текущий по рамке ток (согласно полярности подключенного источника – "от плюса к минусу"), а также линии индукции поля от магнита (N – северный полюс магнита, следовательно, поле "выходит" из него). На рамку со стороны поля магнита будет действовать **сила Ампера**. Причём, сила, действующая **на ближнюю к магниту сторону**, будет направлена **вниз** (направление определяем по "правилу левой руки"), а **на дальнюю сторону – вверх**. На стороны, параллельные току, также будет действовать сила Ампера (вследствие искривления магнитного поля): на дальнюю от магнита эта сила будет направлена вверх, на ближнюю – вниз. Но эти силы будут значительно меньше по сравнению с силами на перпендикулярных сторонах, да к тому же их действие на левую и правую половинки рамки будет почти скомпенсировано. Тогда, под действием оставшейся пары сил рамка начнет поворачиваться по часовой стрелке (**разгоняясь** при этом). Но как только рамка повернется на угол, больший 90° от горизонтального положения, эти же силы начнут рамку **тормозить**. В итоге, если бы **не было** сопротивления со стороны воздуха (и можно было бы **пренебречь** явлением электромагнитной индукции), то рамка бы опять горизонтально, развернувшись на 180 градусов. После чего началось бы обратное движение (по часовой стрелке) – происходили бы **незатухающие колебания рамки** вокруг оси МО. Но, так как есть **сопротивление**, которая направлена **всегда против движения**, то рамка будет поворачиваться каждый раз на меньший угол, пока не остановится в вертикальном положении – в этот момент силы Ампера будут только лишь растягивать в разные стороны, и слегка притягивать к магниту (опять же в силу неоднородности поля), но не поворачивать.



К слову, даже если бы не было сопротивления воздуха, то всё равно из-за возникающего **индукционного тока** рамка тормозилась бы и пришла бы в конце концов в вертикальное положение. При движении от горизонтального положения до вертикального (когда происходит разгон рамки) индукционный ток направит **силу Ампера** в рамке, а при движении от вертикального положения до горизонтального (когда происходит торможение), наоборот, **по току** в рамке – тем самым во втором случае сила Ампера будет больше.

Рамку с постоянным током удерживают неподвижно в поле полосового магнита (см. рисунок). Полярность подключения источника тока к выводам рамки показана на рисунке. Как будет двигаться рамка на неподвижной оси МО, если рамку не удерживать? Ответ поясните, указав, какие физические закономерности вы использовали для объяснения. Считать, что рамка испытывает небольшое сопротивление движению со стороны воздуха. (Решение)

2009 год 320 вариант С1

Две одинаковые лампы Л1 и Л2 подключены к источнику тока, одна - последовательно с катушкой индуктивности L с железным сердечником, а другая - последовательно с резистором R (см. рисунок). Первоначально ключ К разомкнут. Опишите разницу в

работе лампочек при замыкании ключа К. Каким явлением вызвана эта разница?
(Решение)

Шабалин Евгений Иванович

www.reppofiz.info – помощь по физике студентам и школь-

2009 год

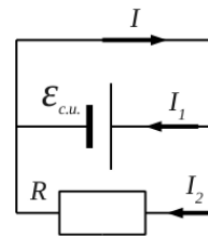
320 вариант

C1

После замыкания ключа токи в цепи начнут увеличиваться. При этом, в катушке индуктивности возникнет ЭДС самоиндукции $\mathcal{E}_{с.и.} = -L \frac{\Delta I_1}{\Delta t}$, которая по правилу Ленца будет направлена так, чтобы уменьшить возникшее изменение, то есть ЭДС самоиндукции будет "сдерживать" рост тока I_1 через катушку (а, следовательно, и через лампу L_1). Таким образом, лампа L_1 будет **разгораться плавно в течении некоторого времени**. Конечно, это время будет зависеть от индуктивности катушки и сопротивления лампы с катушкой, но учитывая, что катушка с **железным** сердечником (который в десятки раз увеличивает её индуктивность), можно считать, что **время будет заметным**.

Рост тока I_2 через лампу L_2 ничем не сдерживается, и время зажигания лампы определяется временем распространения электромагнитных волн по цепи, временем разогрева спирали лампы да влиянием индуктивности проводов и самой лампы (которое пренебрежимо мало) – можно считать, что лампа L_2 **загちт мгновенно**.

Однако, в конечном состоянии, когда прекратится изменение токов и исчезнет ЭДС самоиндукции, сопротивление участка с лампой L_1 станет меньше сопротивления участка с лампой L_2 (про сопротивление к чему не сказано, значит, будем считать, что её сопротивление меньше сопротивления резистора R). Эти **участки соединены параллельно**, то конечный ток через лампу L_1 будет больше тока через лампу L_2 , следовательно, **лампа L_1 будет гореть ярче лампы L_2** .



2009 год 108 вариант С4

Электрическая цепь состоит из источника тока с конечным внутренним сопротивлением и реостата. ЭДС источника $E = 6$ В. Сопротивление реостата можно изменять в пределах от 1 Ом до 5 Ом. Чему равна максимальная мощность тока, выделяемая на реостате, если она достигается при сопротивлении реостата $R = 2$ Ом?
(Решение)

$$\mathcal{E} = 6 \text{ В}$$

$$R = 2 \text{ Ом}$$

$$P_{\max} = ?$$

2009 год

108 вариант

С4

Запишем **закон Ома для замкнутой цепи**: $\mathcal{E} = I(R+r)$ (1), а также выражение для **мощности**, выделяемой на реостате: $P = I^2 R$ (2). В полученных *двух уравнениях три неизвестные*. Но, нам нужна **максимальная мощность**. Поэтому надо как-то математически проанализировать эту систему уравнений. И тут возможны два способа.



1 способ. Он подойдет тем, кто помнит, что максимум функции достигается тогда, когда её производная равна нулю. Выразим из первого уравнения силу тока $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ и подставим её во второе уравнение

У нас получилась зависимость мощности P от внешнего сопротивления R . Берём производную от P и равняем её к нулю: $P' = \mathcal{E}^2 \left[\frac{(R+r)^2 - 2(R+r)R}{(R+r)^4} \right] = \mathcal{E}^2 \left[\frac{R+r-2R}{(R+r)^3} \right] = \mathcal{E}^2 \left[\frac{r-R}{(R+r)^3} \right] = 0$. Откуда следует,

максимальная мощность достигается при равенстве внутреннего и внешнего сопротивлений: $r=R$ (вернется экстремум функции, но легко доказать, что он будет именно максимумом). И равна эта

$$P_{\max} = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R+R)^2} = \frac{\mathcal{E}^2}{4R} = \frac{6^2}{4 \times 2} = 4,5 \text{ Вт}.$$

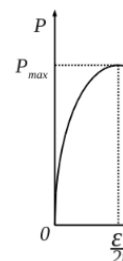
2 способ. Выразим из первого уравнения внешнее сопротивление $R = \frac{\mathcal{E}}{I} - r$ и подста-

вим его во второе $P = I^2 \left(\frac{\mathcal{E}}{I} - r \right) = I\mathcal{E} - I^2 r$. Из полученного выражения видно, что гра-

фиком зависимости мощности P от тока I будет квадратичная парабола. Причём, ветви параболы направлены вниз, значит, её вершина будет соответствовать максимальной

мощности. Координата вершины (ток при максимальной мощности): $I = \frac{\mathcal{E}}{2r}$. Следовательно, как и в первом случае, получаем для внешнего сопротивления значение

$$R = \frac{\mathcal{E}}{I} - r = r. \text{ Ну, и дальше саму максимальную мощность } P_{\max} = \frac{\mathcal{E}^2}{4R} = 4,5 \text{ Вт}.$$



2009 год 115 вариант С5

$$d = 2 \text{ мм} = 2 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$\left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| = 1,09 \text{ Тл/с}$$

$$I_{\text{инд}} = 10 \text{ А}$$

$$\rho_{\text{Cu}} = 1,72 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$D - ?$$

2009 год

115 вариант

С5

По **закону Фарадея** возникающая в кольце ЭДС индукции: $\mathcal{E}_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$, где $\Delta \Phi = \Delta B \times S$ – изменение потока

через поверхность, ограниченную кольцом, $S = \frac{\pi D^2}{4}$ –

площадь поверхности, ограниченной кольцом (в качестве поверхности возьмём плоскость кольца, которая по условию перпендикулярна линиям магнитной

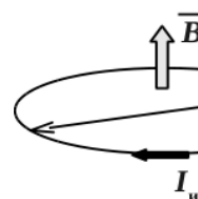
По **закону Ома** для замкнутого кольца $\mathcal{E}_{\text{инд}} = I_{\text{инд}} R$. Здесь $R = \rho_{\text{Cu}} \frac{L}{S_{\text{сеч}}}$ – сопротивление кольца, где

длина провода, из которого сделано кольцо, $S_{\text{сеч}} = \frac{\pi d^2}{4}$ – площадь сечения этого провода. Таким обр

жение для ЭДС индукции получается следующим: $\mathcal{E}_{\text{инд}} = I_{\text{инд}} \frac{4 \rho_{\text{Cu}} D}{d^2}$. Подставляем это выражение и

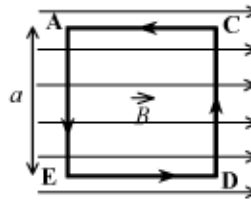
радея: $I_{\text{инд}} \frac{4 \rho_{\text{Cu}} D}{d^2} = \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right| \times \frac{\pi D^2}{4}$ и выражаем диаметр кольца: $D = \frac{16 \rho_{\text{Cu}} I_{\text{инд}}}{\pi d^2 \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|} = \frac{16 \times 1,72 \times 10^{-8} \times 10}{\pi \times (2 \times 10^{-3})^2 \times 1,09} =$

суюнок сделан для случая, когда магнитная индукция увеличивается. Если она будет уменьшаться, тоонный ток будет течь в противоположную сторону.)



Медное кольцо из провода диаметром 2 мм расположено в однородном магнитном поле, магнитное индукция которого меняется по модулю со скоростью 1,09 Тл/с. Плоскость кольца перпендикулярна вектору магнитной индукции. Чему равен диаметр кольца, если возникающий в нем индукционный ток равен 10 А? Удельное сопротивление меди $\rho_{\text{Cu}} = 1,72 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$. (Решение)

- C5** На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жёсткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата ACDE со стороной a (см. рисунок). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции \vec{B} которого перпендикулярен сторонам AE и CD. По рамке против часовой стрелки протекает ток I , масса рамки m . При каком значении модуля вектора магнитной индукции рамка начинает поворачиваться вокруг стороны CD?



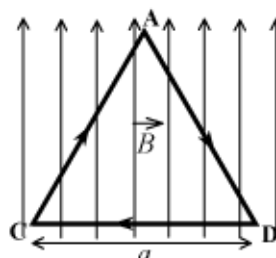
Ответ:

Образец возможного решения
<p>Пусть модуль вектора магнитной индукции равен B. На стороны AE и CD будут действовать силы Ампера $F_{A1} = F_{A2} = IaB$. Момент силы Ампера относительно оси, проходящей через сторону CD, $N_A = Ia^2B$.</p> <p>Момент силы тяжести относительно оси CD: $N_{mg} = -\frac{1}{2}mga$.</p> <p>Условие отрыва: $N_A + N_{mg} \geq 0$, $Ia^2B \geq \frac{mga}{2}$. Отсюда $B \geq \frac{mg}{2aI}$.</p> <p>Допускается ответ в виде равенства.</p>

2009

2009 год 133 вариант С5

С5 На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жёсткая рамка из однородной тонкой проволоки, согнутой в виде равностороннего треугольника ADC со стороной, равной a (см. рисунок). Рамка, по которой течет ток I , находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции которого \vec{B} перпендикулярен стороне CD. Каким должен быть модуль индукции магнитного поля, чтобы рамка начала поворачиваться вокруг стороны CD, если масса рамки m ?



Ответ:

Образец возможного решения

По рамке течет ток I . Пусть модуль вектора магнитной индукции равен B . На стороны рамки действует сила Ампера.

На сторону AD: $F_{A1} = IaB \sin(\pi - \alpha) = \frac{1}{2} IaB$, где $\alpha = 30^\circ$;

На сторону AC: $F_{A2} = IaB \sin \alpha = \frac{1}{2} IaB$;

На сторону CD: $F_{A3} = IaB$.

Суммарный момент этих сил относительно оси CD:

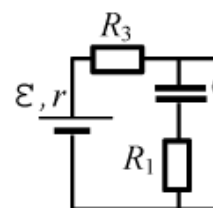
$$N_A = F_{A1} \frac{a\sqrt{3}}{4} + F_{A2} \frac{a\sqrt{3}}{4} = \frac{\sqrt{3} Ia^2 B}{4}.$$

Момент силы тяжести: $N_{mg} = -\frac{mga}{2\sqrt{3}}$. Условия отрыва: $N_A + N_{mg} \geq 0$,

$\frac{\sqrt{3} Ia^2 B}{4} \geq \frac{mga}{2\sqrt{3}}$. Отсюда $B \geq \frac{2mg}{3aI}$. Допускается ответ в виде равенства.

2009 год 144 вариант С4

С4 В схеме на рисунке электрический заряд Q на обкладках конденсатора электроемкостью $C = 1000$ мкФ равен 10 мКл. Внутреннее сопротивление источника тока $r = 10$ Ом, сопротивление резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 20$ Ом и $R_3 = 30$ Ом. Какова ЭДС источника тока?



Ответ:

Образец возможного решения

Электрический ток через последовательно включенные R_1 и C и поэтому напряжения на конденсаторе и резисторе R_2 одинаковы:

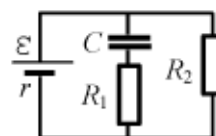
$$U = IR_2, \text{ так как } U = \frac{Q}{C} \text{ то } I = \frac{Q}{R_2 C}.$$

$$\text{Закон Ома для полной цепи: } I = \frac{\varepsilon}{R_2 + R_3 + r} \Rightarrow \varepsilon = \frac{Q(R_2 + R_3 + r)}{R_2 C}$$

Ответ: ЭДС = 30 В.

2009 год 133 вариант С4

- С4** Напряженность электрического поля плоского конденсатора (см. рисунок) равна 24 кВ/м. Внутреннее сопротивление источника $r = 10$ Ом, ЭДС $\mathcal{E} = 30$ В, сопротивления резисторов $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = 40$ Ом. Найдите расстояние между пластинами конденсатора.



Ответ:

Образец возможного решения

Электрический ток через последовательно включенные R_1 и C не идет, поэтому напряжения на конденсаторе и резисторе R_2 одинаковы и равны: $U = IR_2$, $U = Ed$, где E — напряженность поля в конденсаторе. Отсюда $d = \frac{IR_2}{E}$.

Согласно закону Ома, $I = \frac{\mathcal{E}}{r + R_2}$, $\Rightarrow d = \frac{\mathcal{E}R_2}{(R_2 + r)E}$.

Ответ: $d = 10^{-3}$ м = 1 мм.

2009 год 305 вариант С4

$$S = 0,1 \text{ м}^2$$

$$R = 5 \text{ Ом}$$

$$B_{1z} = 2 \text{ Тл}$$

$$B_{2z} = -2 \text{ Тл}$$

$$\Delta q = ?$$

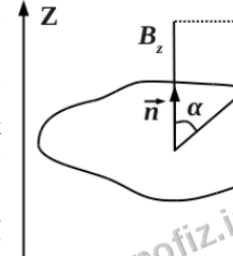
2009 год 305 вариант С4

По **закону Фарадея** в замкнутом проводящем контуре при изменении потока Φ , которую он ограничивает, возникает **средняя** ЭДС индукции: $\mathcal{E} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Знак в этой формуле отражает правило Ленца (показывает направление индукционного тока). В дальнейшем решении не понадобится, поэтому мы его опустим (подробнее об этом можно посмотреть здесь: www.reppofiz.info/ege/2009_155_A19_reshe.pdf). По **закону Ома** для этого контура $\mathcal{E} = I \times R$, где $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ – **средняя** сила тока в контуре. Следовательно, $\frac{\Delta q}{\Delta t} \times R = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Откуда: $\Delta q = \frac{\Delta\Phi}{R}$ – заряд, прошедший по контуру. Заметьте, что в этом выражении нет времени t , то есть не важно как менялось поле: равномерно или нет, быстро или медленно – прошедший по контуру заряд будет одинаковым!

Найдём изменение потока магнитного поля. Если **поле однородное**, а **контур плоский** (как у нас в задаче), то $\Phi = B S \cos(\alpha)$, где α – угол между вектором магнитной индукции и нормалью к контуру. Направим нормаль вертикально (как и ось Z). Тогда, $B \cos(\alpha) = B_z$ – проекция вектора \vec{B} на ось Z . Следовательно, $\Phi = B_z S$. Тогда, $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = B_{2z} S - B_{1z} S = S(B_{2z} - B_{1z}) = 0,1(-2 - 2) = -0,4 \text{ (Вб)}$ (опять же знак "минус" можно опустить).

$$\text{Наконец, } \Delta q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{0,4}{5} = 0,08 \text{ (Кл)}.$$

Добавлю, что так как поток менялся от направления вверх до направления вниз, то по **правилу Л** будет идти против часовой стрелки, если смотреть сверху.



Плоская горизонтальная фигура площадью $S = 0,1 \text{ м}^2$, ограниченная проводящим контуром, имеющим сопротивление $R = 5 \text{ Ом}$, находится в однородном магнитном поле. Какой заряд протечёт по контуру за большой промежуток времени, пока проекция вектора магнитной индукции на вертикаль равномерно меняется с $B_{1z} = 2 \text{ Тл}$ до $B_{2z} = -2 \text{ Тл}$? (Решение)

2009 год 302 вариант С4

Электрон влетает в пространство между двумя разноименно заряженными пластинами плоского конденсатора со скоростью v_0 ($v_0 \ll c$) параллельно пластинам (см. рисунок). Расстояние между пластинами d , длина пластин L ($L \gg d$), разность потенциалов между пластинами $\Delta\phi$. Определите скорость электрона при вылете из конденсатора. (Решение)

Шабалин Евгений Иванович

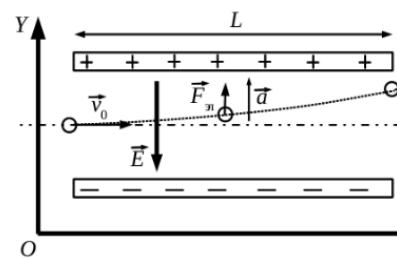
www.reprofiz.info — помощь по физике студентам и школьникам

2009 год 302 вариант С4

На электрон в конденсаторе действуют две силы: **сила со стороны электрического поля** $F_{эл} = qE$ и **сила тяжести**, которая обычно мала по сравнению с электрической силой и ей можно пренебречь. (Мы не можем проверить это утверждение, так как по условию все величины даны в общем виде, но достаточно найти силу тяжести $mg = 0,9 \times 10^{-30} \times 10 = 0,9 \times 10^{-29}$ Н и сравнить её с электрической: чтобы они были соизмеримы и сила тяжести начала влиять на движение электрона, напряженность электрического поля должна равняться $E = \frac{F_{эл}}{q} = \frac{mg}{q} = \frac{0,9 \times 10^{-29}}{1,6 \times 10^{-19}} \approx 10^{-10}$ В/м — то есть быть нереально маленьким).

Тогда у электрона появляется ускорение направленное по оси Y и равное по **2-му закону** $a = \frac{F_{эл}}{m} = \frac{qE}{m}$ (направление силы и, соответственно, ускорения противоположно направлению электрического поля, так как электрон — отрицательно заряженная частица). При $L \gg d$ поле в конденсаторе можно считать **равномерным**, а для **однородного поля** $E = \frac{\Delta\phi}{d}$. Следовательно, $a = \frac{q\Delta\phi}{md}$.

Запишем **кинематический закон перемещения** в проекции на ось OX : $L = v_0 t$, а также **закон скорости** при равноускоренном движении в проекциях на оси OX и OY : $\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = at \end{cases}$. Из первого закона времени движения электрона в конденсаторе: $t = \frac{L}{v_0}$. А из системы: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (at)^2} = \sqrt{v_0^2 + \left(\frac{q\Delta\phi}{m}\right)^2}$.



2009 год 155 вариант А19

В некоторой области пространства, ограниченной плоскостями АВ и CD, создано однородное магнитное поле. Металлическая квадратная рамка движется с постоянной скоростью, направленной вдоль плоскости рамки и перпендикулярно линиям индукции поля. На каком из графиков правильно показана зависимость от времени ЭДС индукции в рамке, если в начальный момент времени передняя сторона рамки пересекла плоскость АВ (см. рисунок), а в момент времени t_0 задняя сторона рамки пересекла плоскость CD. (Решение)

\

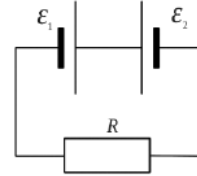
Задача очень проста (не даром она находится в части А), и к тому же подобная задача уже мной рассматривалась (см. решение задачи С6 из варианта 80 за 2006 год). Естественно, ЭДС индукции возникает тогда, когда поток через рамку меняется – то есть, когда рамка входит в магнитное поле и когда выходит из него. Причём, так как скорость рамки постоянная, то и ЭДС будет постоянной. **Ответом будет график №1.**

Но хочется обратить Ваше внимание на один важный момент, непонимание которого часто приводит к ошибкам. Если посмотреть на варианты ответа, то можно заметить, что ЭДС как положительна, так и отрицательна. А что означает, что ЭДС **отрицательна**? И что означает знак "минус" в законе Фарадея:

$$\varepsilon_{\text{инд}} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \text{ ? Именно это мы здесь и рассмотрим.}$$

Так вот, **знак ЭДС определяется по ориентации источника тока по отношению к направлению обхода электрической цепи!** Точно так же определяется и **знак силы тока**. При этом направление обхода **мы выбираем сами** (как направление осей системы отсчёта в механике). Рассмотрим простейшую схему, состоящую из двух идеальных источников и сопротивления. Как для этой цепи записать закон Ома? Следующие четыре уравнения будут абсолютно верными:

$$\begin{cases} \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I \times R \\ \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = -I \times R \\ \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = I \times R \\ \varepsilon_2 - \varepsilon_1 = -I \times R \end{cases}$$



Разница же в этих уравнениях следующая. В первых двух мы принимаем обход цепи **по часовой стрелке** за **положительный**, поэтому первая ЭДС положительна, а вторая – отрицательна. В третьем и четвертом уравнениях за **положительный** принят обход **против часовой стрелки**. Что же касается тока, то мы же можем и не знать, куда реально течёт ток (как порой в механике не знаем, в какую сторону направлен какой-нибудь вектор – например, импульс тел после соударения), поэтому **мы сами его направляем**, а ответ покажет правы мы или нет. Так в первом и четвертом уравнениях мы направляли

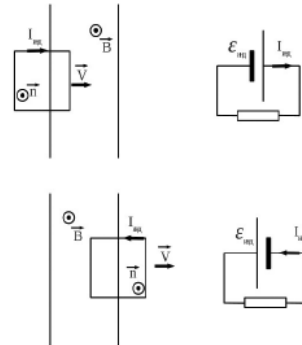
ток **по часовой стрелке**, а во втором и третьем – **против**. Предположим, что $\varepsilon_1 = 5\text{ В}$, $\varepsilon_2 = 3\text{ В}$, а $R = 1\text{ Ом}$. При этом мы записали **второе уравнение**. Из него мы получаем, что ток равен $I = -2\text{ А}$. Это значит, что мы неправильно направили ток – он будет течь **по часовой стрелке**.

Теперь вернёмся к нашей задаче. Пусть рамка **входит** в магнитное поле. Тогда по **правилу Ленца** ток будет течь **по часовой стрелке**, так как он должен создавать поле, направленное против внешнего (см. рисунок – справа изображена эквивалентная схема с ЭДС индукцией). Когда рамка будет выходить из поля, ток будет течь **против часовой стрелки**, чтобы создавать поле теперь сонаправленное с внешним (опять же **по правилу Ленца**). Если мы за **положительный** принимаем обход **по часовой стрелке**, то в первом случае ЭДС **положительна**, а во втором – **отрицательна**. Если же мы примем за **положительный** обход **против часовой стрелки**, то всё будет наоборот – вначале ЭДС **отрицательна**, затем **положительна**.

При этом мы нигде не использовали знак "минус" в законе Фарадея. Именно так я и советую делать, решая подобные задачи (см., например, ту же задачу С6 из варианта 80 за 2006 год). Ибо правильное толкование этого знака **выходит за рамки школьной программы**. Ниже я объясню этот знак, но школьникам это можно уже и не читать.

Вначале надо бы вспомнить, что существуют **правые** и **левые** системы координат. Для большинства законов это не имеет значения, но **закон Фарадея** здесь является исключением – знак "минус" будет в **правой** (общепринятой) системе координат. Отличаются эти системы **правилом буравчика**. Если мы будем говорить о нормали к плоскому контуру, то она может иметь два направления. Например, на моём рисунке нормаль направлена к нам, а можно было бы и направить от нас. Так вот, по большому счёту, **направление нормали и обход контура связаны между собой!** Если нормаль направлена как на рисунке к нам, то по **правилу буравчика** в **правой** системе координат положительное направление обхода мы обязаны выбрать **против часовой стрелки**. И тогда рассуждения получаются следующими: поле направлено по нормали, значит поток поля в момент входа рамки будет расти $\Delta\Phi > 0$, и согласно закону Фарадея с **учётом знака** $\varepsilon < 0$, следовательно, ток отрицателен – он будет течь **против положительного обхода** (то есть, в нашем случае **по часовой стрелке**). Если же нормаль направить от нас, то положительным станет обход **по часовой стрелке**. Но тогда при входе рамки поток уменьшается $\Delta\Phi < 0$, так как поле направлено против нормали, а следовательно $\varepsilon > 0$, значит и ток положителен – то есть течёт **по часовой стрелке**. Самое главное (и так оно и должно быть), что **направление тока не зависит от того, как мы выбрали нормаль!**

При выходе рамки из поля аналогичные рассуждения приводят к тому, что ток будет течь **против часовой стрелки**, опять же независимо от направления нормали.



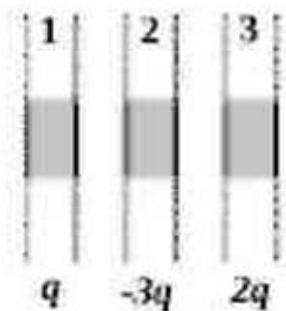
2009 год. 153 вариант. С5

Простой колебательный контур содержит конденсатор емкостью $C = 1 \text{ мкФ}$ и катушку индуктивности $L = 0,01 \text{ Гн}$. Какой должна быть емкость конденсатора, чтобы циклическая частота колебаний электрической энергии в контуре увеличилась на $\Delta\omega = 2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$? (Решение)

Шабалин Евгений Иванович

www.reppofiz.info – помощь по физике студентам и школьникам

$C = 1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$ $L = 0,01 \text{ Гн}$ $\Delta\omega = 2 \times 10^4 \text{ с}^{-1}$ $C_2 = ?$	<p style="text-align: center;">2009 год 153 вариант С5</p> <p>Согласно формуле Томсона период колебаний заряда на конденсаторе или в колебательном контуре $T = 2\pi\sqrt{LC}$. Так как электрическая энергия (да и магнитная энергия) меняется в два раза быстрее, то её период колебаний $T_3 = \pi\sqrt{LC}$. Следовательно частота колебаний электрической энергии: $\omega = \frac{2\pi}{T_3} = \frac{2}{\sqrt{LC}}$ (*).</p> <p>Тогда, $\omega_1 = \frac{2}{\sqrt{0,01 \times 10^{-6}}} = 2 \times 10^4 \text{ с}^{-1}$ – начальная частота колебаний электрической энергии $\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega = 2 \times 10^4 + 2 \times 10^4 = 4 \times 10^4$ – конечная частота колебаний. Если теперь из формулы (*) выразим емкость конденсатора, то получим ответ: $C_2 = \frac{4}{L\omega_2^2} = \frac{4}{0,01 \times (4 \times 10^4)^2} = 2,5 \times 10^{-7} \text{ Ф} = 0,25 \text{ мкФ}$.</p>
--	--



2009 год. 181 вариант. С1

На трёх параллельных металлических пластинах большой площади располагаются заряды, указанные на рисунке. Какой заряд находится на левой плоскости первой пластины? (Решение)

2009 год

181 вариант

С1

В первую очередь надо отметить, что **металлические** пластины являются **проводниками электричества**. Пусть на левой плоскости первой пластины располагается некий заряд q_1 , а на правой плоскости – заряд q_2 . Тогда, по закону сохранения заряда $q_1 + q_2 = q$ (*), так как **внутри проводника заряда быть не может** (естественно, имеется ввиду избыточный заряд).

Возьмём внутри пластины **1** некую точку **A**. Поле в этой точке будет создаваться четырьмя зарядами: q_1 , q_2 , $-3q$ и $2q$, расположенными на больших пластинах (распределение зарядов на 2-ой и 3-ей пластинах значения не имеет). Каждый заряд создаёт поле, пропорциональное его величине и равное **по модулю** $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} = \frac{q}{2\epsilon_0 S}$, где S – площадь пластин. Т

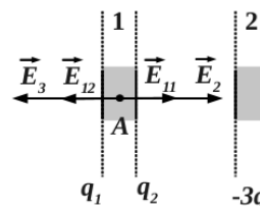


рисунок). Результирующее поле **по принципу суперпозиции** $\vec{E}_{рез} = \vec{E}_{11} + \vec{E}_2 + \vec{E}_{12} + \vec{E}_3$. В проекции на горизонтальную ось: $E_{рез} = E_{11} + E_2 - E_{12} - E_3 = 0$, так как **электрическое поле внутри проводника равно нулю**.

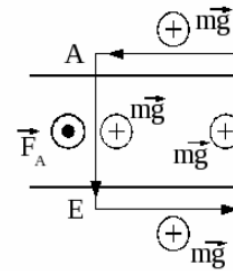
Подставим сюда выражения для напряжённостей и после упрощения получим $q_1 + 3q - q_2 - 2q = 0$, $q_2 - q_1 = q$. Решение этого уравнения совместно с уравнением (*) даёт ответы: $q_2 = q$, $q_1 = 0$. Следовательно, весь заряд q будет находиться **на правой** плоскости первой пластины, **на левой** же плоскости **заряда не**

2009 год 45 вариант С5

На непроводящей горизонтальной поверхности стола лежит проводящая жёсткая

рамка из однородной тонкой проволоки, согнутая в виде квадрата ACDE со стороной a (см. рисунок). Рамка находится в однородном горизонтальном магнитном поле, вектор индукции \vec{B} которого перпендикулярен сторонам AE и CD и равен по модулю B . По рамке против часовой стрелки протекает ток I . При каком значении массы рамки она начнёт поворачиваться вокруг стороны CD? (Решение)

Рассмотрим действующие на рамку силы. Пусть масса одной стороны будет равна m . Тогда на каждую сторону действует результирующая сила $m\vec{g}$, приложенная в **центре масс** соответствующей стороны, то есть **в геометрическом центре** (так как по условию проволока однородная). Будем считать, что на рисунке нам дан вид сверху, тогда силы тяжести направлены от нас. Кроме них на стороны CD и AE действуют силы Ампера, модуль которых: $F_A = I B a$. Направление этих сил определим по **правилу левой руки**: на сторону CD сила направлена от нас (вниз), на сторону AE – к нам (вверх). Вообще-то, как и сила тяжести, сила Ампера действует на каждый бесконечно маленький отрезок проводника. Но результирующая сила опять же будет приложена **в геометрическом центре** соотв. стороны. Таким образом, сторона CD прижата к столу, а вот остальная часть рамки может начать маяться силой Ампера. В итоге будет происходить вращение вокруг стороны CD. При этом, конечно же действует ещё и сила реакции опоры (стола), но при вращении эта сила будет приложена только к сто



Так как **характер движения вращательный**, то определяющими становятся **не сами силы, а их относительно оси вращения** (стороны CD). Моменты создают сила Ампера и сила тяжести, прил стороне AE: $M_A = F_A a = I B a^2$, $M_{AE} = m g a$, а также силы тяжести, приложенные к сторонам

$M_{AC} = M_{ED} = m g \frac{a}{2}$. Оставшиеся три силы (включая не показанную на рисунке силу реакции опоры) и к оси вращения (стороне CD) и, соответственно, моментов относительно CD не создают.

Условие вращения рамки: $M_A > M_{AE} + M_{AC} + M_{ED}$, то есть $I B a^2 > m g a + m g \frac{a}{2} + m g \frac{a}{2} = 2 m g a$. Сл

но: $m < \frac{I B a}{2g}$. Учитывая, что масса всей рамки $m_{рамки} = 4m$, получаем окончательный ответ: $m_{рамки} < \frac{I B a}{2g}$.

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 3 \text{ В} \\ r &= 0,5 \text{ Ом} \\ C &= 2 \text{ мФ} = 2 \times 10^{-3} \text{ Ф} \\ L &= 2 \text{ мГн} = 2 \times 10^{-3} \text{ Гн} \\ W &= ? \end{aligned}$$

2008 год

05205941 вариант

С4

В начальный момент в цепи через катушку индуктивности течет ток. По **закон замкнутой цепи** этот ток равен $I = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ А}$. Так как **сопротивление катушки нулю**, то и падения напряжения на ней нет. Следовательно, на конденсаторе разности потенциалов (конденсатор подключен с катушкой **параллельно**). При размыкания ключа катушка будет иметь энергию $W_{\text{маг}} = \frac{LI^2}{2} = \frac{2 \times 10^{-3} \times 6^2}{2} = 36 \times 10^{-3} \text{ Дж} = 36 \text{ мДж}$, конденсатора $W_{\text{эл}} = \frac{CU^2}{2} = 0$, так как $U = 0$.

После размыкания ключа в контуре, содержащем катушку, конденсатор и лампу, возникнут **колебания**, и вся энергия катушки (**по закону сохранения энергии**) в итоге перейдет в тепло, выд на лампе. То есть, $W = Q = W_{\text{маг}} = 36 \text{ мДж}$.

В электрической цепи, показанной на рисунке, ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока соответственно равны 3 В и 0,5 Ом; емкость конденсатора 2 мФ; индуктивность катушки 2 мГн. В начальный момент времени ключ К замкнут. Какая энергия выделится в лампе после размыкания ключа? Сопротивлением катушки и проводов пренебречь. (Решение)

2008 год. 01 вариант. С3

Маленький шарик с зарядом $q = 4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$ 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? (Решение)

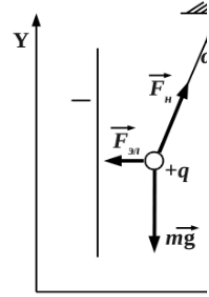
$$\begin{aligned}
 q &= 4 \times 10^{-7} \text{ Кл} \\
 m &= 3 \text{ г} = 3 \times 10^{-3} \text{ кг} \\
 k &= 100 \text{ Н/м} \\
 d &= 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м} \\
 \Delta x &= 0,5 \text{ мм} = 5 \times 10^{-4} \text{ м} \\
 U &= ?
 \end{aligned}$$

2008 год 1 вариант С3

Рассмотрим силы, действующие на шарик: вертикально вниз сила тяжести $m\vec{g}$, горизонтально влево сила со стороны поля в конденсаторе $\vec{F}_{эл}$ (эта сила могла бы быть направлена и горизонтально вправо, но тогда шарик протянулся бы к правой обкладке) и сила натяжения нити \vec{F}_n (вдоль самой нити). Так как шарик покоится, то по второму закону Ньютона $m\vec{g} + \vec{F}_{эл} + \vec{F}_n = 0$ (*).

Дальнейшее решение можно провести двумя способами. Первый более распространённый и подойдёт для любой ситуации. Спроецируем это уравнение на

оси системы координат:
$$\begin{cases} F_n \sin(\alpha) - F_{эл} = 0 \\ F_n \cos(\alpha) - mg = 0 \end{cases}$$
. При этом $F_{эл} = qE$, где E –



напряжённость электрического поля в конденсаторе. Так как поле в конденсаторе однородно, то E

натяжения нити $F_n = k \Delta x$. А α – это угол между нитью и вертикалью. Для решения полученной системы

пишем уравнения следующим образом
$$\begin{cases} F_n \sin(\alpha) = F_{эл} \\ F_n \cos(\alpha) = mg \end{cases}$$
; возведём уравнения в квадрат
$$\begin{cases} F_n^2 \sin^2(\alpha) = F_{эл}^2 \\ F_n^2 \cos^2(\alpha) = (mg)^2 \end{cases}$$

наконец, сложим уравнения $F_n^2 = F_{эл}^2 + (mg)^2$ (**). (здесь мы воспользовались основным тригонометрическим тождеством).

Теперь подставим выражения для сил натяжения и электрической $(k \Delta x)^2 = (q \frac{U}{d})^2 + (mg)^2$

разим отсюда искомую разность потенциалов: $(q \frac{U}{d})^2 = (k \Delta x)^2 - (mg)^2 \Rightarrow q \frac{U}{d} = \sqrt{(k \Delta x)^2 - (mg)^2} \Rightarrow$

$$U = \frac{d}{q} \sqrt{(k \Delta x)^2 - (mg)^2} = \frac{0,05}{4 \times 10^{-7}} \sqrt{(100 \times 5 \times 10^{-4})^2 - (3 \times 10^{-3} \times 10)^2} = 5 \times 10^3 \text{ В} = 5 \text{ кВ}.$$

Уравнение (**) можно получить и другим способом, который удобен в случае небольшого количества сил. Сделаем отдельно рисунок с силами согласно уравнению (*). Мы получили треугольник. Так как сила тяжести вертикальна, а электрическая сила горизонтальна, то треугольник прямоугольный. Следовательно, по теореме Пифагора: $F_n^2 = F_{эл}^2 + (mg)^2$. И дальше как в первом способе решения.

2008 год. 116 вариант. С3

До замыкания ключа К на схеме (см. рисунок) идеальный вольтметр V показывал напряжение 9 В. После замыкания ключа идеальный амперметр А показывает силу тока 0,4 А. Каково внутреннее сопротивление батареи? Сопротивления резисторов указаны на рисунке. (Решение)

$$U_V = 9 \text{ В}$$

$$I_A = 0,4 \text{ А}$$

$$r = ?$$

2008 год

116 вариант

С3

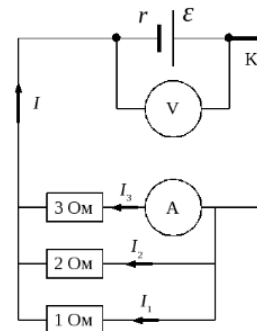
Рассмотрим начальное состояние (ключ разомкнут). По условию **вольтметр идеальный**, то есть его сопротивление бесконечно велико. Значит, ток через батарею не течет и ЭДС батареи $\mathcal{E} = U_V = 9 \text{ В}$.

После замыкания ключа через батарею потечет ток I , который на сопротивлениях разделится на несколько токов. Расставим на рисунке эти токи (токи через 4-ое и 5-ое сопротивления нас интересовать не будут, а номера сопротивлений пусть соответствуют их номинальным значениям). **Амперметр идеальный**, то есть его сопротивление равно нулю, и на нем не будет происходить падения напряжения. Тогда первые три сопротивления включены **параллельно**, и, следовательно, **напряжения на них одинаковы**: $I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3 = I_A R_3 =$ амперметр показывает ток, текущий через 3-е сопротивление, то есть I_3). Следовательно: $I_2 =$

$$I_1 = \frac{1,2}{1} = 1,2 \text{ А} . \text{ По закону сохранения заряда: } I = I_1 + I_2 + I_3 = 2,2 \text{ А} - \text{ ток через батарею.}$$

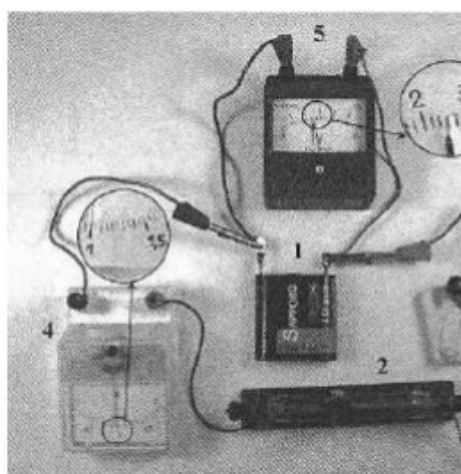
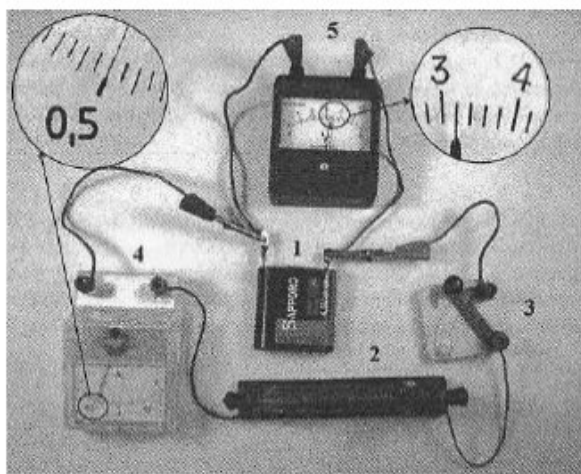
По **закону Ома для замкнутой цепи** $\mathcal{E} = I(R_{\text{внеш}} + r)$, где $R_{\text{внеш}}$ — полное сопротивление внешней цепи. Первые три сопротивления включены параллельно, значит их общее сопротивление находится $\frac{1}{R_{123}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{11}{6} \text{ Ом}^{-1}$, и тогда $R_{123} = \frac{6}{11} \text{ Ом}$. Аналогично, для 4-го и 5-го сопротивлений также параллельны): $\frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5} = \frac{1}{4} + \frac{1}{5} = \frac{9}{20} \text{ Ом}^{-1}$, то есть $R_{45} = \frac{20}{9} \text{ Ом}$. В свою очередь эти две сопротивления включены **последовательно** друг другу. Значит, $R_{\text{внеш}} = R_{123} + R_{45} = \frac{6}{11} + \frac{20}{9} \approx 2,77 \text{ Ом}$.

$$\text{И из закона Ома: } r = \frac{\mathcal{E}}{I} - R_{\text{внеш}} = \frac{9}{2,2} - 2,77 \approx 1,32 \text{ Ом} .$$



2007 год. 108 вариант. С3

Ученик собрал электрическую цепь, состоящую из батарейки (1), реостата (2), ключа (3), амперметра (4) и вольтметра (5). После этого он измерил напряжение на полюсах источника тока и силу тока в цепи при различных положениях ползунка реостата (см. фотографию). Определите силу тока короткого замыкания батарейки. (Решение)



2007 год

108 вариант

С3

Задачи подобного рода обычно просты, но требуют знания и понимания физического эксперимента. По фотографии можно нарисовать схему включения элементов в цепь (см. рисунок) и записать показания приборов: $I_1 = 0,5 \text{ A}$, $U_1 = 3,2 \text{ В}$, $I_2 = 1 \text{ A}$, $U_2 = 2,6 \text{ В}$ (будьте осторожны, цена деления шкалы вольтметра – $0,2 \text{ В}$.)

После этого для двух положений ползунка реостата запишем закон Ома для замкнутой цепи (сумма падений напряжений на всех участках цепи равна ЭДС):

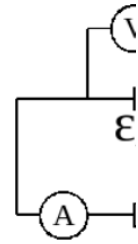
$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1 \times r + U_1 \\ \mathcal{E} = I_2 \times r + U_2 \end{cases} \quad (\text{здесь учтен тот факт, что в нашей задаче вольтметр показывает не}$$

только напряжение на батарее, но и напряжение во внешней цепи). Мы получили систему из двух

с двумя неизвестными, решение которой даёт: $r = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} = \frac{3,2 - 2,6}{1 - 0,5} = 1,2 \text{ Ом}$ – внутреннее сопротивление

рейки и $\mathcal{E} = 0,5 \times 1,2 + 3,2 = 3,8 \text{ В}$ – ЭДС батарейки.

Следовательно, ток короткого замыкания: $I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r} = \frac{3,8}{1,2} \approx 3,17 \text{ А}$



2007 год. 105 вариант. С3

Одни и те же элементы соединены в электрическую цепь сначала по схеме 1, а затем по схеме 2 (см. рисунок). Сопротивление резистора равно R , сопротивление амперметра $R/100$, сопротивление вольтметра $9R$. Каковы показания амперметра в первой схеме, если во второй схеме они равны I_2 ? (Решение)

$$R_A = 0,01R$$

$$R_V = 9R$$

$$I_1 = ?$$

2007 год

105 вариант

С3

Так как по условию задачи ничего не сказано про **источник тока**, то решить эту задачу **строго** не получится. Но можно использовать тот

факт, что **сопротивление амперметра очень мало**

по сравнению с другими сопротивлениями, следо-

вательно, при его перестановке общее внешнее сопротивление цепи почти не изменится. А тогда поч-

нется и ток через источник тока. В первом случае это ток I_1 , а во втором – сумма токов I_2 и I_3 : $I_1 \approx I_2 + I_3$

Проверим наше предположение. В схеме 1 резистор и вольтметр соединены **параллельно**, а ампер-

метр подключен **последовательно**. Тогда $R_1 = R_A + \frac{R \times R_V}{R + R_V} = 0,01R + \frac{R \times 9R}{R + 9R} = 0,91R$ – общее внешнее сопр

В схеме 2 резистор и амперметр включены **последовательно**, а вольтметр подключен к ним **па**

$R_2 = \frac{(R + R_A) \times R_V}{R + R_A + R_V} = \frac{(R + 0,01R) \times 9R}{R + 0,01R + 9R} \approx 0,9081R$. То есть разница внешних сопротивлений составляет

0,2 % – **ничтожно мала**, как и предполагалось.

Для второго случая по закону **параллельного соединения** напряжения равны: $I_2(R + 0,01R) = I_3 \cdot 9R$

$I_3 = \frac{1,01R}{9R} I_2 \approx 0,112 I_2$. Следовательно: $I_1 \approx I_2 + I_3 = 1,112 I_2$.

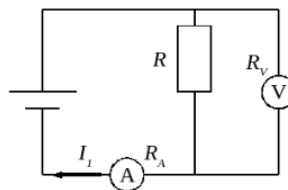


Схема 1

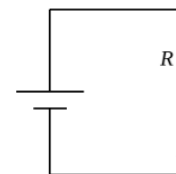
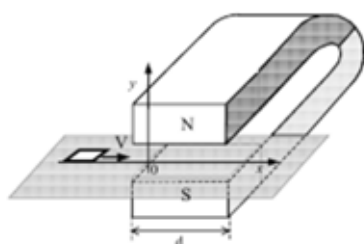


Схема 2

2006 год. 80 вариант. С6



Квадратную рамку из медной проволоки со стороной

$b = 5$ см перемещают вдоль оси Ox по гладкой горизонтальной поверхности с постоянной скоростью $v = 1$ м/с. Начальное положение рамки изображено на рисунке. За время движения рамка успевает полностью пройти между полюсами магнита. Индукционные токи, возникающие в рамке, оказывают тормозящее действие, поэтому для поддержания постоянной скорости движения к ней прикладывают внешнюю силу F , направленную вдоль оси Ox . Чему равно сопротивление проволоки рамки, если суммарная работа внешней силы за время движения равна $A = 2,5 \cdot 10^{-3}$ Дж? Ширина полюсов магнита $d = 20$ см, магнитное поле имеет резкую границу, однородно между полюсами, а его индукция $B = 1$ Тл. (Решение)

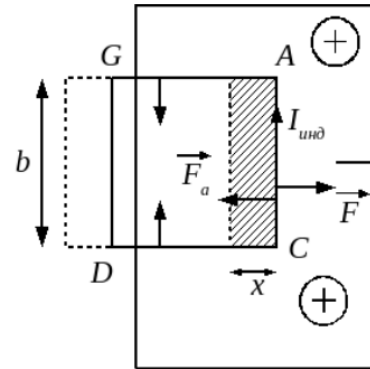
2006 год

80 вариант

С6

Рассмотрим прохождение рамки между полюсами магнита (на рисунке изображен вид сверху). Когда рамка входит в магнитное поле, в ней **возникает ЭДС индукции**, так как через поверхность, ограниченную рамкой, **меняется поток магнитного поля**. В самом деле, пусть рамка равномерно сместилась вправо на расстояние x за время Δt . Тогда площадь рамки, находящаяся в магнитном поле, изменилась на величину $\Delta S = bx = bV \Delta t$ (это изменение площади заштриховано на рисунке). Значит, поток через рамку меняется на величину $\Delta \Phi = B \Delta S = BbV \Delta t$.

По **закону Фарадея**: $\mathcal{E}_{\text{инд}} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = BbV$. Эта ЭДС вызовет в



рамке ток, равный по **закону Ома** $I_{\text{инд}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{инд}}}{R} = \frac{BbV}{R}$, который согласно **правилу Ленца** будет с

уменьшить магнитный поток (ток будет течь против часовой стрелки, если смотреть сверху). Следствием на сторону AC будет действовать со стороны магнитного поля **сила Ампера**: $F_a = BbI_{\text{инд}} = \frac{B^2 b^2 V}{R}$

препятствующая движению. На сторону DG сила действовать не будет, так как эта сторона не находится в магнитном поле, а силы на стороны GA и CD направлены перпендикулярно скорости (то есть движению). Таким образом, чтобы рамка двигалась равномерно, надо против силы Ампера приложить силу $F = F_a = \frac{B^2 b^2 V}{R}$.

Когда рамка полностью войдет в магнитное поле, поток через рамку перестанет меняться, значит ЭДС индукции (а с ней и силы Ампера) не будет, и внешнюю силу прикладывать не надо. А когда рамка выходит из поля, то повторится первоначальная ситуация: опять будет меняться поток, опять возникнет ЭДС индукции и, соответственно, ток. Естественно, возникнет сила Ампера, препятствующая движению, надо прикладывать силу F . Разница лишь будет в том, что ток будет течь по часовой стрелке (теперь же уменьшать магнитный поток), а сила Ампера действовать на сторону DG. Следовательно, она совершает работу в двух ситуациях: когда рамка входит в поле и проходит расстояние b , и когда выходит из поля, и опять же на расстоянии b . Таким образом полная **работа силы**: $A = F \times (2b) = \frac{2B^2 b^3 V}{R}$. От

противления проволоки рамки: $R = \frac{2B^2 b^3 V}{A} = \frac{2 \times 1^2 \times 0,05^3 \times 1}{2,5 \times 10^{-3}} = 0,1 \text{ Ом}$.

Ширина полюсов магнита d в этой задаче роли не сыграла, так как $d > b$. В противном случае, пришлось бы находить не на пути $2b$, а на пути $2d$.

2006 год. 62 вариант. С4

Плоская катушка диаметром 6 см, состоящая из 120 витков, находится в однородном

магнитном поле, индукция которого $6 \cdot 10^{-2}$ Тл. Катушка поворачивается вокруг оси, перпендикулярной линиям индукции, на угол 180° за $0,2$ с. Плоскость катушки до и после поворота перпендикулярна линиям индукции поля. Чему равно среднее значение ЭДС индукции, возникающей в катушке? (Решение)

$D = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$
 $N = 120 \text{ витков}$
 $B = 6 \times 10^{-2} \text{ Тл}$
 $\Delta\alpha = 180^\circ$
 $\Delta t = 0,2 \text{ с}$

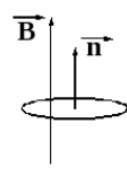
2006 год 62 вариант С4

$\mathcal{E} = ?$

По закону **электромагнитной индукции** средняя ЭДС, возникающая в од
 $\mathcal{E}_1 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$. Во многих учебниках в этом законе Вы можете увидеть знак "минус"
 перед дробью. Но мало кто из школьников (если вообще кто-то) понимает истинну
 этого знака. Возможно, некоторая часть вспомнит, что этот знак связан с **прае**
ца, забыв, правда, при этом о правовинтовой системе координат (то есть, **о связ**
к поверхности и направлении обхода этой поверхности). Таким образом, со

"минус" в этом законе никогда не ставить, а ЭДС определять по модулю: $\mathcal{E}_1 = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$.

Так как катушка состоит из N одинаковых витков, которые **включены последо-**
вательно, то суммарная ЭДС будет: $\mathcal{E} = N \times \mathcal{E}_1 = N \times \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$. Рассмотрим начальное
 и конечное состояния катушки. По условию плоскость катушки перпендикулярна
 линиям индукции поля. Пусть нормаль \vec{n} к плоскости по направлению поля (на-
 поминаю, направление нормали – это наш выбор, можно нормаль пустить и против
 поля – ответ от этого не изменится). Тогда начальный поток через виток:
 $\Phi_1 = BS \cos(0^\circ) = BS$. После поворота на 180° поток станет: $\Phi_2 = BS \cos(180^\circ) = -BS$. Сле,



$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2BS$, а учитывая, что площадь витка $S = \frac{\pi D^2}{4}$, получаем ответ для ЭДС:

$$\mathcal{E} = N \times \frac{2BS}{\Delta t} = \frac{NB\pi D^2}{2\Delta t} = \frac{120 \times 0,06 \times 3,14 \times 0,06^2}{2 \times 0,2} \approx 0,2 \text{ В}.$$

2006 год. 38 вариант. С3

По однородному цилиндрическому алюминиевому проводнику сечением $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ пропустили ток 10 А . Определите изменение его температуры за 15 с . Изменением сопротивления проводника и рассеянием тепла при его нагревании пренебречь. (Удельное сопротивление алюминия $2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.) (Решение)

$$S = 2 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$I = 10 \text{ А}$$

$$t = 15 \text{ с}$$

$$\rho = 2,5 \times 10^{-8} \text{ Ом} \times \text{м}$$

$$\lambda = 2700 \text{ кДж/м}^3$$

$$c = 900 \text{ Дж/(кг} \times \text{К)}$$

 $\Delta T = ?$

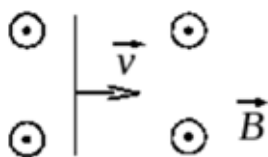
2006 год 38 вариант С3

При протекании тока по проводнику в последнем согласно **закону Джо** выделяется теплота: $Q_1 = I^2 R t$, где $R = \rho \frac{L}{S}$ – сопротивление проводника для теплота **полностью идет на нагревание проводника** (по условию рассеяние необходимо пренебречь). **Теплота, требуемая для нагревания:** $Q_2 = m c \Delta T$ удельная теплоемкость алюминия, а $m = \lambda V = \lambda L S$ – масса проводника обозначена плотность алюминия, а объем проводника $V = L S$, так как

цилиндрический). **По закону сохранения энергии:** $Q_1 = Q_2 \Rightarrow I^2 \rho \frac{L}{S} t = \lambda L S c \Delta T \Rightarrow$

$$\Delta T = \frac{\rho I^2 t}{\lambda S^2 c} = \frac{2,5 \times 10^{-8} \times 10^2 \times 15}{2700 \times (4 \times 10^{-6})^2 \times 900} \approx 3,86^\circ \text{C}.$$

2006 год. 33 вариант. С4



Горизонтально расположенный проводник длиной 1 м

движется равноускоренно в вертикальном однородном магнитном поле, индукция которого равна 0,5 Тл и направлена перпендикулярно проводнику и скорости его движения (см. рисунок). При начальной скорости проводника, равной нулю, проводник переместился на 1 м. ЭДС индукции на концах проводника в конце перемещения равна 2 В. Каково ускорение проводника? (Решение)

$$\begin{aligned} L &= 1 \text{ м} \\ B &= 0,5 \text{ Тл} \\ S &= 1 \text{ м} \\ \mathcal{E} &= 2 \text{ В} \\ a &= ? \end{aligned}$$

2006 год 33 вариант С4

При движении проводника **перпендикулярно** магнитному полю и **перпендикулярно** его концам возникает ЭДС индукции (разность потенциалов) $\mathcal{E} = B \times L \times v$ (**электромагнитной индукции**). Следовательно, можно определить скорость при конце перемещения: $v = \frac{\mathcal{E}}{B \times L} = \frac{2}{0,5 \times 1} = 4 \text{ м/с}$. Так как движение **равноускор**

нулевой начальной скоростью, то **кинематические уравнения движения** выглядят следующим

$$\begin{cases} v = at \\ S = \frac{at^2}{2} \end{cases} \text{ Выражая из первого уравнения время и подставляя его во второе, найдем} \\ a = \frac{v^2}{2S} = \frac{4^2}{2 \times 1} = 8 \text{ м/с}^2.$$

2005 год. 91 вариант. С3

При подключении к источнику постоянного тока резистора сопротивлением $R_1 = 2 \text{ Ом}$ в цепи идет ток $I_1 = 1,6 \text{ А}$. Если к источнику подключить резистор сопротивлением $R_2 = 1 \text{ Ом}$, то по цепи пойдет ток $I_2 = 2 \text{ А}$. Какое количество теплоты выделяется за 1 с внутри источника тока при подключении резистора R_2 ? (Решение)

$$\begin{aligned} R_1 &= 2 \text{ Ом} \\ I_1 &= 1,6 \text{ А} \\ R_2 &= 1 \text{ Ом} \\ I_2 &= 2 \text{ А} \\ t &= 1 \text{ с} \\ Q &= ? \end{aligned}$$

2005 год 91 вариант С3

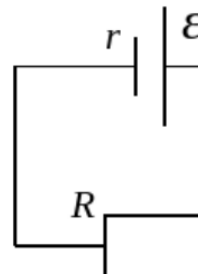
Запишем для обоих случаев **закон Ома для замкнутой цепи**:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = I_1(R_1 + r) \\ \mathcal{E} = I_2(R_2 + r) \end{cases}$$

где \mathcal{E} – ЭДС источника тока, r – его внутреннее сопротивление (схема в обоих случаях одинаковая). Так как левые части полученной системы уравнений одинаковые, то, приравняв правые части и раскрыв скобки, можно найти внутреннее сопротивление:

$$r = \frac{I_1 R_1 - I_2 R_2}{I_2 - I_1} = \frac{1,6 \times 2 - 2 \times 1}{2 - 1,6} = 3 \text{ Ом}.$$

Внутри источника теплота выделяется именно на этом сопротивлении. А по **закону Джоуля-Ленца** выделившейся теплоты Q на некотором сопротивлении r равно: $Q = I^2 r t = I_2^2 r t = 2^2 \times 3 \times 1 = 12 \text{ Дж}$ (нужно найти теплоту при подключении сопротивления R_2 , то есть когда ток будет равен I_2).



2005 год. 101 вариант. С6

В некоторый момент образовалась система из трёх неподвижных протонов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника со стороной $a = 10^{-3}$ см (см. рисунок). Под действием электрических сил протоны симметрично разлетаются. Определите скорости протонов, когда они окажутся на большом расстоянии друг от друга. Отношение заряда к массе для протона $e/m = 9,6 \times 10^7$ Кл/кг. (Решение)

Шабалин Евгений Иванович

www.reprofiz.info – помощь по физике студентам и школьникам

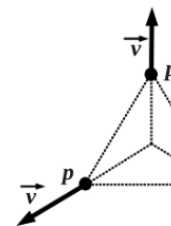
$a = 10^{-3} \text{ см} = 10^{-5} \text{ м}$ $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Кл}$ $e/m = 9,6 \times 10^7 \text{ Кл/кг}$ $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$ $v = ?$	2005 год 101 вариант С6
	Любая система зарядов обладает потенциальной энергией : $E_n = \frac{1}{2} \sum q_i \varphi_i$, который заряд, φ_i – потенциал поля в той точке, где он находится. В нашем случае заряды одинаковые и расположены на равных расстояниях друг от друга, то есть потенциалы в точках, где они находятся, тоже будут одинаковыми. Следовательно, по принципу суперпозиции) от двух любых протонов в точке расположения третьего. Тогда $E_n = \frac{3}{4\pi \epsilon_0 a}$

потенциальная энергия системы протонов.

Так как протоны вначале покоятся, то импульс системы равен нулю. Внешних действующих на систему сил нет, значит импульс остаётся равным нулю всегда (**по закону сохранения импульса**). Следовательно при разлёте протонов в силу их симметричного расположения, а также равенства их масс, можно утверждать, что и их скорости будут одинаковыми. Значит суммарная кинетическая энергия системы:

$E_k = 3 \frac{mv^2}{2}$. Когда протоны будут на большом расстоянии их потенциальной энергией можно пренебречь, то есть **конечная энергия** системы равна только кинетической. По **закону сохранения энергии**: $E_n = E_k$, или

$$\frac{3e^2}{4\pi \epsilon_0 a} = \frac{3mv^2}{2}. \text{ Отсюда: } v = \sqrt{\frac{e^2}{2\pi \epsilon_0 a m}} = \sqrt{\frac{1,6 \times 10^{-19} \times 9,6 \times 10^7}{2 \times 3,14 \times 8,85 \times 10^{-12} \times 10^{-5}}} = 166 \text{ (м/с)}.$$



2005 год. 58 вариант. С6

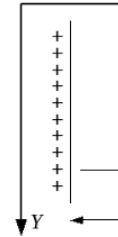
$$\begin{aligned} d &= 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м} \\ E &= 10^4 \text{ В/м} \\ q &= 10^{-5} \text{ Кл} \\ m &= 10 \text{ г} = 0,01 \text{ кг} \\ v &= ? \end{aligned}$$

2005 год 58 вариант С6

На шарик при движении действуют две силы: вертикально сила тяжести и горизонтально сила со стороны электрического поля пластин. **Второй закон Ньютона** в проекции на оси получается

следующим: $\begin{cases} F_{эл} = qE = ma_x \\ mg = ma_y \end{cases}$. Отсюда найдем проекции ускорения:

$$a_x = \frac{qE}{m} = \frac{10^{-5} \times 10^4}{0,01} = 10 \text{ м/с}^2, \quad a_y = g = 10 \text{ м/с}^2.$$



Запишем **кинематические уравнения движения** шарика для скорости: $\begin{cases} v_x = a_x t \\ v_y = a_y t \end{cases}$ (начальная скорость

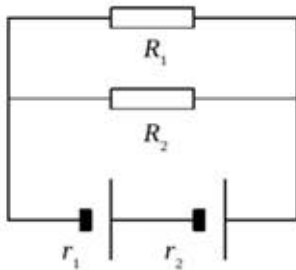
нулю) и для перемещения по горизонтали: $S_x = \frac{d}{2} = \frac{a_x t^2}{2}$ (здесь, конечно, надо предположить, что

очень длинные). Из последнего уравнения можно найти время, когда шарик коснется пластины:

подставить это время в законы для проекции скорости. Тогда модуль скорости:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = (\sqrt{a_x^2 + a_y^2})t = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \sqrt{\frac{d}{a_x}} = \sqrt{10^2 + 10^2} \sqrt{\frac{0,05}{10}} = 1 \text{ м/с}.$$

Электрическое поле образовано двумя неподвижными, вертикально расположенными, параллельными, разноименно заряженными непроводящими пластинами. Пластины расположены на расстоянии $d = 5$ см друг от друга. Напряженность поля между пластинами $E = 10^4$ В/м. Между пластинами на равном расстоянии от них помещен шарик с зарядом $q = 10^{-5}$ Кл и массой $m = 10$ г. После того как шарик отпустили, он начинает падать. Какую скорость будет иметь шарик, когда коснется одной из пластин? (Решение)



2005 год. 49 вариант. С3

Два последовательно соединённых гальванических элемента с одинаковыми ЭДС (см. рисунок) замкнуты на параллельно соединённые резисторы, сопротивления которых $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 6$ Ом. Внутреннее сопротивление первого элемента $r_1 = 0,8$ Ом. Чему равно внутреннее сопротивление r_2 второго элемента, если напряжение на его зажимах равно нулю? (Решение)

$R_1 = 3 \text{ Ом}$ $R_2 = 6 \text{ Ом}$ $r_1 = 0,8 \text{ Ом}$ $U_{AB} = 0 \text{ В}$ $r_2 = ?$	<p>2005 год 49 вариант С3</p> <p>Напряжение на зажимах гальванического элемента $U_{AB} = \mathcal{E} - I \times r_2$, где \mathcal{E} – ЭДС элемента, r_2 – его внутреннее сопротивление, I – ток, текущий через него. Так как по условию это напряжение равно нулю, то $r_2 = \frac{\mathcal{E}}{I}$ (*). По закону Ома для замкнутой цепи: $2\mathcal{E} = I(R_{\text{внеш}} + r_1 + r_2)$ (где $R_{\text{внеш}}$ – суммарное сопротивление параллельно включенных R_1 и R_2: $R_{\text{внеш}} = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = 2 \text{ Ом}$). Отсюда $\frac{\mathcal{E}}{I} = \frac{1}{2}(R_{\text{внеш}} + r_1 + r_2)$, и подставляя это выражение в (*) получаем: $r_2 = \frac{1}{2}(R_{\text{внеш}} + r_1 + r_2)$. Решая последнее уравнение получаем: $r_2 = R_{\text{внеш}} + r_1 = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ Ом}$.</p> <p>А можно по закону Ома для неоднородного участка цепи ВА: $\varphi_B - \varphi_A + \mathcal{E} = I(R_{\text{внеш}} + r_1)$ $\varphi_B - \varphi_A = 0$, то $\frac{\mathcal{E}}{I} = R_{\text{внеш}} + r_1 = 2,8 \text{ Ом}$ – получаем, естественно, тот же ответ.</p>	
---	---	--

2004 год. 80 вариант. С4

Металлический шар установлен на тонком проводящем стержне, соединяющем его с Землёй. Шар окружен незаряженной металлической сферой, радиусом $r_2 = 10 \text{ см}$, изолированной от Земли, центр сферы совпадает с центром шара. При передаче сфере электрического заряда $q = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$ между шаром и сферой возникла разность потенциалов $\Delta\phi = \phi_{\text{сф}} - \phi_{\text{ш}} = 90 \text{ В}$. Определите радиус r шара. (Решение)

$$\begin{array}{l} r_2 = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м} \\ q = 2 \times 10^{-9} \text{ Кл} \\ \Delta\varphi = 90 \text{ В} \\ r - ? \end{array}$$

2004 год 80 вариант С4

Если бы шар не был соединён с Землёй, то после того как сфере сообщили заряд, шар приобрёл бы потенциал, равный потенциалу сферы (так как сфера замкнутая, то все тела внутри имеют один и тот же потенциал – потенциал сферы). Но **шар заземлён**. Это означает, что **его потенциал должен оставаться равным потенциалу Земли**, то есть **нулю** (потенциал Земли принимается равным нулю). Следовательно, на шар должен с Земли прийти некоторый заряд q_w , поле которого по **принципу суперпозиции** будет складываться с полем заряда сферы. Тогда потенциал шара:

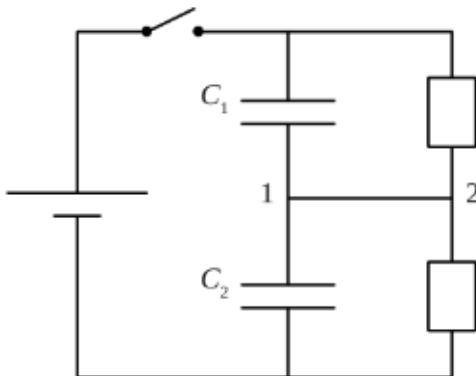
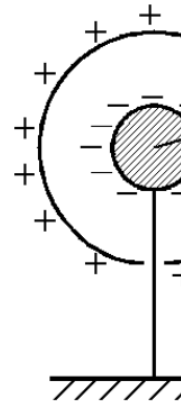
$$\varphi_w = k \frac{q_w}{r} + k \frac{q}{r_2} = 0, \text{ здесь первое слагаемое – потенциал от заряда на шаре, второе}$$

– от заряда на сфере. Получаем связь между зарядами: $q_w = -q \frac{r}{r_2}$. Но тогда

потенциал сферы по тому же **принципу суперпозиции полей**: $\varphi_{сф} = k \frac{q_w}{r_2} + k \frac{q}{r_2} = k \frac{q}{r_2} \left(1 - \frac{r}{r_2}\right)$.

Значит, разность потенциалов между сферой и шаром: $\Delta\varphi = \varphi_{сф} - \varphi_w = k \frac{q}{r_2} \left(1 - \frac{r}{r_2}\right)$.

$$\text{Следовательно: } r = r_2 \left(1 - \frac{\Delta\varphi \times r_2}{k \times q}\right) = 0,1 \left(1 - \frac{90 \times 0,1}{9 \times 10^9 \times 2 \times 10^{-9}}\right) = 0,05 \text{ м} = 5 \text{ см}.$$



2004 год. 64 вариант. С5

Конденсаторы $C_1 = 10 \text{ мкФ}$ и $C_2 = 20 \text{ мкФ}$ соединены последовательно. Параллельно получившейся цепочке подключают последовательно соединенные одинаковые резисторы $R = 100 \text{ кОм}$. Точки соединения конденсаторов и резисторов замыкают проводником 1 - 2 (см. рисунок). Всю цепь подключают к батарейке $\varepsilon = 10 \text{ В}$, конденсаторы практически мгновенно заряжаются. Какой заряд протечет по проводнику 1 - 2 за достаточно большое время после замыкания? Элементы цепи считать идеальными. (Решение)

$$C_1 = 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$C_2 = 20 \text{ мкФ} = 2 \times 10^{-5} \text{ Ф}$$

$$R = 100 \text{ кОм} = 10^5 \text{ Ом}$$

$$\mathcal{E} = 10 \text{ В}$$

$$q - ?$$

2004 год 64 вариант С5

По условию элементы цепи идеальные, следовательно **внутренним сопротивлением батарейки и проводов можно пренебречь**. Это означает, что как только ключ будет замкнут, то почти мгновенно заряд (имеется ввиду **положительный**) с пластины **e** второго конденсатора через батарейку перейдёт на пластину **a** первого, а такой же заряд с пластины **b** перейдёт на пластину **d**. Суммарный заряд пластин **b** и **d** будет равным нулю.

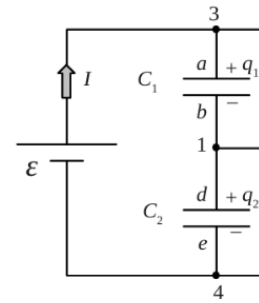
При этом потенциалы точек 1 и 2 в первый момент будут отличаться. В самом деле $\Delta\varphi_{31} \neq \Delta\varphi_{14}$, так как $C_1 \neq C_2$, а $\Delta\varphi_{32} = \Delta\varphi_{24}$, так как сопротивления одинаковые. Это приведёт к тому, что ещё некоторое время пока не сравняются потенциалы 2 будет происходить перераспределение зарядов на конденсаторах. В конечном состоянии (через большое время) в цепи будет течь ток $I = \frac{\mathcal{E}}{2R}$ (по **закону Ома**), а напряжения на конденсаторах ст

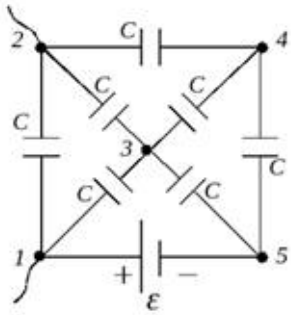
соответствующим напряжениям на сопротивлениях: $\Delta\varphi_{31} = \Delta\varphi_{32}$ и $\Delta\varphi_{14} = \Delta\varphi_{24}$. Так как $\Delta\varphi_{31} = \frac{q}{C_1}$

окончательный заряд на первом конденсаторе, а $\Delta\varphi_{32} = I \times R = \frac{\mathcal{E}}{2}$, то $\frac{q_1}{C_1} = \frac{\mathcal{E}}{2}$ и $q_1 = \frac{\mathcal{E} C_1}{2}$. Аналогич

тельный заряд на втором конденсаторе: $q_2 = \frac{\mathcal{E} C_2}{2}$. Причём, на пластине **d** будет **положительный** пластине **b** — **отрицательный**. Следовательно, суммарный заряд на пластинах **b** и

$q = q_2 - q_1 = \frac{\mathcal{E}(C_2 - C_1)}{2} = \frac{10 \times (2 - 1) \times 10^{-5}}{2} = 5 \times 10^{-5} \text{ Кл} = 50 \text{ мкКл}$. Значит, именно такой заряд пройдёт до точки 1 (напоминаю, начальный заряд на пластинах **b** и **d** был равен нулю).





2003 год. 39 вариант. С3

К батарее из 7 одинаковых конденсаторов емкости C (см. рисунок) подключен источник тока с ЭДС ϵ . Какова разность потенциалов между обкладками конденсатора, соединяющего точки 1 и 2? (Решение)

2003 год

39 вариант

С3

Решение этой задачи проведем двумя способами.

1-ый способ (подходит в общем случае). Расставим знаки зарядов на пластинах конденсаторов (на рисунке показаны только плюсы). Для узлов 2, 3 и 4 выполняются **законы сохранения зарядов** в виде $\sum q_i = 0$, так как до подключения в этих точках заряда не было, а сами эти **точки изолированы**. Причем $q_i = C \times U_i$, где q_i — заряд на конденсаторе, U_i — напряжение на нем. Кроме того, для **замкнутых контуров**, из которых состоит вся цепь, выполняется **закон Ома** $\sum U_i + \varepsilon = 0$. Таких независимых контуров в этой задаче четыре: 1-2-3-1, 2-4-3-2, 3-4-5-3, 1-3-5-1 (можно выбрать какие-нибудь другие). В итоге получаем 7 уравнений с 7-ю неизвестными (U_i).

Но в силу некоторой симметрии, количество уравнений будет меньшим. Ясно, что $U_2 = U_5$, $U_1 = U_7$, узел 4 эквивалентен узлу 2. Остаются 4 неизвестных, для нахождения которых достаточно четырех

$$\begin{cases} -q_1 + q_2 + q_4 = -CU_1 + CU_2 + CU_4 = 0 \\ -U_3 - U_6 + \varepsilon = -2 \times U_3 + \varepsilon = 0 \\ -U_1 - U_2 + U_3 = 0 \\ U_2 - U_4 + U_5 = 2 \times U_2 - U_4 = 0 \end{cases} \quad \text{Первое уравнение записано для узла 2, остальные для}$$

обходом по часовой стрелке. Решение этой системы дает ответ: $U_1 = \frac{3\varepsilon}{8}$.

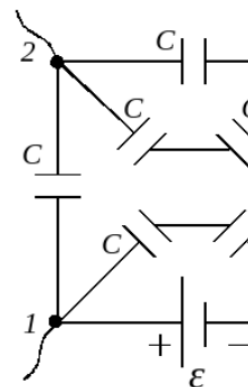
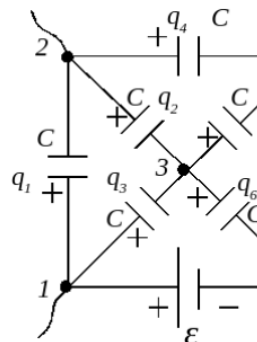
2-ой способ (подходит при наличии симметрии). Но **симметрию этой схемы** можно использовать сразу! Так как $U_3 = U_6$ и $U_2 = U_5$, то $q_3 = q_6$ и $q_2 = q_5$, то есть конденсаторы 3 и 6, а также 2 и 5, **включены последовательно** (нумерация конденсаторов соответствует нумерации зарядов на верхнем рисунке). Мы можем **разорвать узел 3** так, как показано на рисунке.

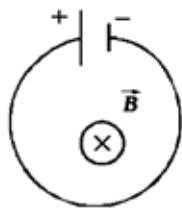
Следовательно емкость участка 2-4 $C_{24} = \frac{3C}{2}$, а так как участки 1-2, 2-4 и 4-5

включены последовательно, то $U_{12} + U_{24} + U_{45} = \varepsilon$, или с учетом **равенства**

заряда при последовательном включении: $\frac{q}{C} + \frac{q}{(3C/2)} + \frac{q}{C} = \varepsilon$.

Отсюда: $q = \frac{3C\varepsilon}{8}$. И, значит, $U_1 = U_{12} = \frac{q}{C} = \frac{3\varepsilon}{8}$.





2003 год. 48 вариант. В3

Плоский контур с источником постоянного тока находится во внешнем однородном магнитном поле, вектор магнитной индукции которого B перпендикулярен плоскости контура (см. рисунок). Во сколько раз изменится мощность тока в контуре после того, как поле начнет увеличиваться со скоростью $0,01$ Тл/с? Площадь контура $0,1$ м², ЭДС источника тока 10 мВ. (Решение)

Шабалин Евгений Иванович

www.reppofiz.info – помощь по физике студентам и шко

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,01 \text{ Тл}$$

$$S = 0,1 \text{ м}^2$$

$$\varepsilon = 10 \text{ мВ}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = ?$$

2003 год 48 вариант В3

Несмотря на то, что это задача из части В, по сложности её можно отнести к части С. И в первую очередь хочется в разобрать одну данную по условию величину – скорость увеличения поля. Посмотрите на **размерность** этой величины: Тл/с. Исходя из размерности (и условия) эта величина показывает **изменение индукции магнитного поля за единицу времени**, то есть $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ – что и записано в "Дано".



При неизменном поле **мощность тока** в контуре: $P_1 = I_1^2 \times R = \frac{\varepsilon^2}{R}$, где R – сопротивление контура, а I_1 – ток, создаваемый источником и текущий **против часовой стрелки** (см. рисунок). поле начнет меняться, в контуре дополнительно возникнет **индукционный ток** (появится ЭДС **индукции Фарадея**: $\varepsilon_i = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta (B \times S)}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,1 \times 0,01 = 10^{-3} \text{ В} = 1 \text{ мВ}$. Остается определить **направление тока** I_i . По **правилу Ленца** ток будет направлен так, чтобы попытаться **вернуть прежнее состояние**. Так как **внешнее поле по условию возрастает**, то индукционный ток должен создавать поле B , направленное **против внешнего**. Значит, индукционный ток будет течь **против часовой стрелки** (для определения направления тока можно воспользоваться **буравчиком**). Следовательно ЭДС **источника и индукции будут складываться**: $\varepsilon_2 = \varepsilon + \varepsilon_i$, а новая $P_2 = \frac{(\varepsilon + \varepsilon_i)^2}{R}$. Тогда $\frac{P_2}{P_1} = \frac{(\varepsilon + \varepsilon_i)^2}{\varepsilon^2} = \frac{(10 + 1)^2}{10^2} = 1,21$.

(К сожалению, получилось очень много выделенных слов, но все эти выделенные моменты действительны в данной задаче.)