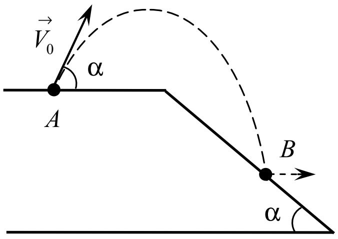
11.1/1. Мяч бросают из точки A под углом $\alpha = 30^\circ$ к горизонту. В точке B, лежащей на нисходящем участке траектории, мяч падает на плоскость, наклонённую к горизонту под тем же углом α. В результате абсолютно упругого удара мяч отскакивает от плоскости в горизонтальном направлении. Найдите начальную скорость мяча V_0. Точка B лежит на высоте $h = 2{,}2$ м ниже точки A; ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Ответ выразите в м/с и округлите до десятых.



Возможное решение

Пусть $\overrightarrow{V}$ — скорость мяча перед ударом о наклонную плоскость. При абсолютно упругом ударе мяч отражается от плоскости зеркально. Учитывая, что скорость мяча сразу после удара направлена горизонтально, из простых геометрических соображений получаем, что вектор $\overrightarrow{V}$ образует с горизонтом угол $\beta = 2\,\alpha = 60^\circ$. Обозначим через t время движения мяча из точки A в точку B. Тогда

$$\overrightarrow{V} = \overrightarrow{V_0} + \overrightarrow{g}t$$

Угол между векторами $\overrightarrow{V}$ и $\overrightarrow{V_0}$ равен $\alpha + \beta = 3\,\alpha = 90^\circ$. Таким образом, векторы $\overrightarrow{V}$, $\overrightarrow{V_0}$ и $\overrightarrow{g}t$ образуют прямоугольный треугольник с углом α, лежащим против стороны $\overrightarrow{V_0}$. Отсюда находим связь V и V_0:

$$V = V_0 \operatorname{ctg}\alpha = \sqrt{3}\,V_0$$

Далее воспользуемся законом сохранения энергии. Обозначив массу мяча через m, имеем:

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{mV_0^2}{2} + mgh \quad \longrightarrow \quad V^2 = V_0^2 + 2gh$$

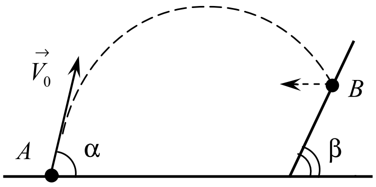
Подставляя сюда $V = \sqrt{3}\,V_0$, находим начальную скорость мяча:

$$3V_0^2 = V_0^2 + 2gh \quad \longrightarrow \quad V_0 = \sqrt{gh} = 4{,}7 \text{ м/с}$$

Ответ:

$$V_0 = \sqrt{gh} = 4{,}7 \text{ м/с}$$

11.1/2. Мяч бросают из точки A под углом $\alpha = 60°$ к горизонту. В точке B, лежащей на нисходящем участке траектории, мяч падает на плоскость, наклонённую к горизонту под углом $\beta = (\alpha + 90°)/2$. В результате абсолютно упругого удара мяч отскакивает от плоскости в горизонтальном направлении. Найдите начальную скорость мяча V_0. Точка B лежит на высоте $h = 0{,}9$ м над точкой A; ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Ответ выразите в м/с и округлите до десятых.



Возможное решение

Пусть $\overrightarrow{V}$ — скорость мяча перед ударом о наклонную плоскость. При абсолютно упругом ударе мяч отражается от плоскости зеркально. Учитывая, что скорость мяча сразу после удара направлена горизонтально, из простых геометрических соображений получаем, что вектор $\overrightarrow{V}$ образует с горизонтом угол $\gamma = 180° - 2\beta = 90° - \alpha = 30°$. Обозначим через t время движения мяча из точки A в точку B. Тогда

$$\overrightarrow{V} = \overrightarrow{V_0} + \overrightarrow{g}t$$

Угол между векторами $\overrightarrow{V}$ и $\overrightarrow{V_0}$ равен $\alpha + \gamma = 90°$. Таким образом, векторы $\overrightarrow{V}$, $\overrightarrow{V_0}$ и $\overrightarrow{g}t$ образуют прямоугольный треугольник с углом α, лежащим против стороны $\overrightarrow{V_0}$. Отсюда находим связь V и V_0:

$$V = V_0 \operatorname{ctg}\alpha = \frac{V_0}{\sqrt{3}}$$

Далее воспользуемся законом сохранения энергии. Обозначив массу мяча через m, имеем:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + mgh \quad \longrightarrow \quad V_0^2 = V^2 + 2gh$$

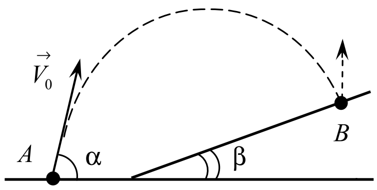
Подставляя сюда $V = V_0/\sqrt{3}$, находим начальную скорость мяча:

$$V_0^2 = \frac{V_0^2}{3} + 2gh \quad \longrightarrow \quad V_0 = \sqrt{3gh} = 5{,}2 \text{ м/с}$$

Ответ:

$$V_0 = \sqrt{3gh} = 5{,}2 \text{ м/с}$$

11.1/3. Мяч бросают из точки A под углом $\alpha = 60^\circ$ к горизонту со скоростью $V_0 = 3$ м/с. В точке B, лежащей на нисходящем участке траектории, мяч падает на плоскость, наклонённую к горизонту под углом $\beta = \alpha/2$. В результате абсолютно упругого удара мяч отскакивает от плоскости вертикально вверх. Найдите высоту h точки B над точкой A. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с^2. Ответ выразите в метрах.



Возможное решение

Пусть $\vec{V}$ — скорость мяча перед ударом о наклонную плоскость. При абсолютно упругом ударе мяч отражается от плоскости зеркально. Учитывая, что скорость мяча сразу после удара направлена вертикально вверх, из простых геометрических соображений получаем, что вектор $\vec{V}$ образует с горизонтом угол $\gamma = 90^\circ - 2\beta = 90^\circ - \alpha$. Обозначим через t время движения мяча из точки A в точку B. Тогда

$$\vec{V} = \vec{V_0} + \vec{g}t$$

Угол между векторами $\vec{V}$ и $\vec{V_0}$ равен $\alpha + \gamma = 90^\circ$. Таким образом, векторы $\vec{V}$, $\vec{V_0}$ и $\vec{g}t$ образуют прямоугольный треугольник с углом α, лежащим против стороны $\vec{V_0}$. Отсюда находим связь V и V_0:

$$V = V_0 \operatorname{ctg}\alpha = V_0 \operatorname{ctg} 60^\circ = \frac{V_0}{\sqrt{3}}$$

Далее воспользуемся законом сохранения энергии. Обозначив массу мяча через m, имеем:

$$\frac{mV_0^2}{2} = \frac{mV^2}{2} + mgh \quad \longrightarrow \quad V_0^2 = V^2 + 2gh$$

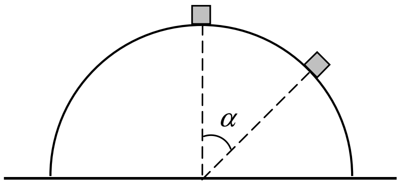
Подставляя сюда $V = V_0/\sqrt{3}$, находим высоту h:

$$V_0^2 = \frac{V_0^2}{3} + 2gh \quad \longrightarrow \quad h = \frac{V_0^2}{3\,g} = 0{,}3 \text{ м}$$

Ответ:

$$h = \frac{V_0^2}{3\,g} = 0{,}3 \text{ м}$$

11.2/1. С вершины полусферы, стоящей на шероховатом горизонтальном столе, начинает соскальзывать маленький брусок. Когда брусок прошёл по поверхности полусферы дугу, которой соответствует центральный угол $\alpha = 25^\circ$, полусфера начала скользить по столу. Найдите коэффициент трения μ между полусферой и столом. Известно отношение k массы полусферы к массе бруска: $k = 20$. Трение между бруском и полусферой не учитывайте. Ответ запишите в виде десятичной дроби, округлённой до тысячных.



Возможное решение

При $0 \le \alpha \le 25^\circ$ сфера неподвижна. Запишем второй закон Ньютона для бруска в этом случае. В проекции на направление центростремительного ускорения имеем:

$$\frac{mV^2}{R} = mg\cos\alpha - N_1$$

m — масса бруска, V — его скорость, R — радиус полусферы, N_1 — сила нормальной реакции, действующая на брусок со стороны полусферы. Скорость бруска найдём из закона сохранения энергии:

$$mgR = \frac{mV^2}{2} + mgR\cos\alpha \quad\longrightarrow\quad V^2 = 2gR\,(\,1-\cos\alpha\,)$$

Для силы N_1 получаем:

$$N_1 = mg\cos\alpha - \frac{mV^2}{R} = mg\cos\alpha - m\,\frac{2gR\,(\,1-\cos\alpha\,)}{R} = mg\,(\,3\cos\alpha - 2\,)$$

По третьему закону Ньютона сила N_1 равна силе давления бруска на полусферу. Горизонтальная составляющая силы давления компенсируется силой трения покоя F , действующей на полусферу со стороны стола:

$$F = N_1\sin\alpha$$

Вертикальная составляющая силы давления и сила тяжести Mg (M — масса полусферы) определяют силу нормальной реакции N_2 , действующую на полусферу со стороны стола:

$$N_2 = Mg + N_1\cos\alpha$$

При $\alpha = 25^\circ$ сила трения покоя F достигает своего максимального значения, равного силе трения скольжения μN_2 :

$$F = \mu N_2$$

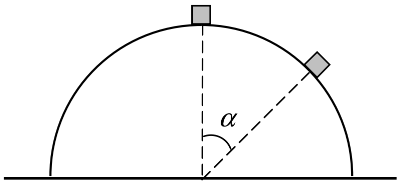
Отсюда находим коэффициент трения. Вводя отношение масс $k = M/m$, получаем:

$$\mu = \frac{F}{N_2} = \frac{N_1\sin\alpha}{Mg + N_1\cos\alpha} = \frac{m\sin\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)}{M + m\cos\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)} = \frac{\sin\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)}{k+\cos\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)} = 0{,}015$$

Ответ:

$$\mu = \frac{\sin\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)}{k+\cos\alpha\,(\,3\cos\alpha-2\,)} = 0{,}015$$

11.2/2. С вершины полусферы, стоящей на шероховатом горизонтальном столе, начинает соскальзывать маленький брусок. Когда брусок прошёл по поверхности полусферы дугу, которой соответствует центральный угол $\alpha = 15^\circ$, полусфера начала скользить по столу. Найдите коэффициент трения μ между полусферой и столом. Известно отношение k массы полусферы к массе бруска: $k = 20$. Трение между бруском и полусферой не учитывайте. Ответ запишите в виде десятичной дроби, округлённой до тысячных.



Возможное решение

При $0 \le \alpha \le 15^\circ$ сфера неподвижна. Запишем второй закон Ньютона для бруска в этом случае. В проекции на направление центростремительного ускорения имеем:

$$\frac{mV^2}{R} = mg\cos\alpha - N_1$$

m — масса бруска, V — его скорость, R — радиус полусферы, N_1 — сила нормальной реакции, действующая на брусок со стороны полусферы. Скорость бруска найдём из закона сохранения энергии:

$$mgR = \frac{mV^2}{2} + mgR\cos\alpha \quad \longrightarrow \quad V^2 = 2gR\,(1-\cos\alpha)$$

Для силы N_1 получаем:

$$N_1 = mg\cos\alpha - \frac{mV^2}{R} = mg\cos\alpha - m\,\frac{2gR\,(1-\cos\alpha)}{R} = mg\,(3\cos\alpha - 2)$$

По третьему закону Ньютона сила N_1 равна силе давления бруска на полусферу. Горизонтальная составляющая силы давления компенсируется силой трения покоя F, действующей на полусферу со стороны стола:

$$F = N_1\sin\alpha$$

Вертикальная составляющая силы давления и сила тяжести Mg (M — масса полусферы) определяют силу нормальной реакции N_2, действующую на полусферу со стороны стола:

$$N_2 = Mg + N_1\cos\alpha$$

При $\alpha = 15^\circ$ сила трения покоя F достигает своего максимального значения, равного силе трения скольжения μN_2:

$$F = \mu N_2$$

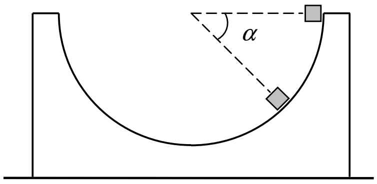
Отсюда находим коэффициент трения. Вводя отношение масс $k = M/m$, получаем:

$$\mu = \frac{F}{N_2} = \frac{N_1\sin\alpha}{Mg + N_1\cos\alpha} = \frac{m\sin\alpha\,(3\cos\alpha-2)}{M + m\cos\alpha\,(3\cos\alpha-2)} = \frac{\sin\alpha\,(3\cos\alpha-2)}{k+\cos\alpha\,(3\cos\alpha-2)} = 0{,}011$$

Ответ:

$$\mu = \frac{\sin\alpha\,(3\cos\alpha-2)}{k+\cos\alpha\,(3\cos\alpha-2)} = 0{,}011$$

11.2/3. С края полусферы, стоящей на шероховатом горизонтальном столе, начинает соскальзывать маленький брусок. Когда брусок прошёл по поверхности полусферы дугу, которой соответствует центральный угол $\alpha = 30°$, полусфера начала скользить по столу. Найдите коэффициент трения μ между полусферой и столом. Известно отношение k массы полусферы к массе бруска: $k = 40$. Трение между бруском и полусферой не учитывайте. Ответ запишите в виде десятичной дроби, округлённой до тысячных.



Возможное решение

При $0 \le \alpha \le 30°$ сфера неподвижна. Запишем второй закон Ньютона для бруска в этом случае. В проекции на направление центростремительного ускорения имеем:

$$\frac{mV^2}{R} = N_1 - mg\sin\alpha$$

m — масса бруска, V — его скорость, R — радиус полусферы, N_1 — сила нормальной реакции, действующая на брусок со стороны полусферы. Скорость бруска найдём из закона сохранения энергии. Принимая потенциальную энергию за нуль в начальном положении бруска, получаем:

$$0 = \frac{mV^2}{2} - mgR\sin\alpha \quad \longrightarrow \quad V^2 = 2gR\sin\alpha$$

Сила N_1 равна:

$$N_1 = mg\sin\alpha + \frac{mV^2}{R} = mg\sin\alpha + m\,\frac{2gR\sin\alpha}{R} = 3\,mg\sin\alpha$$

По третьему закону Ньютона сила N_1 равна силе давления бруска на полусферу. Горизонтальная составляющая силы давления компенсируется силой трения покоя F, действующей на полусферу со стороны стола:

$$F = N_1\cos\alpha$$

Вертикальная составляющая силы давления и сила тяжести Mg (M — масса полусферы) определяют силу нормальной реакции N_2, действующую на полусферу со стороны стола:

$$N_2 = Mg + N_1\sin\alpha$$

При $\alpha = 30°$ сила трения покоя F достигает своего максимального значения, равного силе трения скольжения μN_2:

$$F = \mu N_2$$

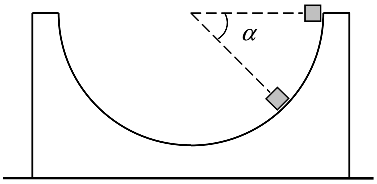
Отсюда находим коэффициент трения. Вводя отношение масс $k = M/m$, получаем:

$$\mu = \frac{F}{N_2} = \frac{N_1\cos\alpha}{Mg + N_1\sin\alpha} = \frac{3\,m\sin\alpha\cos\alpha}{M + 3\,m\sin^2\alpha} = \frac{3\,\sin 2\alpha}{2\,(\,k + 3\,\sin^2\alpha\,)} = 0{,}032$$

Ответ:

$$\mu = \frac{3\,\sin 2\alpha}{2\,(\,k + 3\,\sin^2\alpha\,)} = 0{,}032$$

11.2/4. С края полусферы, стоящей на шероховатом горизонтальном столе, начинает соскальзывать маленький брусок. Когда брусок прошёл по поверхности полусферы дугу, которой соответствует центральный угол $\alpha = 30°$, полусфера начала скользить по столу. Найдите коэффициент трения μ между полусферой и столом. Известно отношение k массы полусферы к массе бруска: $k = 20$. Трение между бруском и полусферой не учитывайте. Ответ запишите в виде десятичной дроби, округлённой до тысячных.



Возможное решение

При $0 \le \alpha \le 30°$ сфера неподвижна. Запишем второй закон Ньютона для бруска в этом случае. В проекции на направление центростремительного ускорения имеем:

$$\frac{mV^2}{R} = N_1 - mg\sin\alpha$$

m — масса бруска, V — его скорость, R — радиус полусферы, N_1 — сила нормальной реакции, действующая на брусок со стороны полусферы. Скорость бруска найдём из закона сохранения энергии. Принимая потенциальную энергию за нуль в начальном положении бруска, получаем:

$$0 = \frac{mV^2}{2} - mgR\sin\alpha \quad \longrightarrow \quad V^2 = 2gR\sin\alpha$$

Сила N_1 равна:

$$N_1 = mg\sin\alpha + \frac{mV^2}{R} = mg\sin\alpha + m\,\frac{2gR\sin\alpha}{R} = 3\,mg\sin\alpha$$

По третьему закону Ньютона сила N_1 равна силе давления бруска на полусферу. Горизонтальная составляющая силы давления компенсируется силой трения покоя F , действующей на полусферу со стороны стола:

$$F = N_1\cos\alpha$$

Вертикальная составляющая силы давления и сила тяжести Mg (M — масса полусферы) определяют силу нормальной реакции N_2 , действующую на полусферу со стороны стола:

$$N_2 = Mg + N_1\sin\alpha$$

При $\alpha = 30°$ сила трения покоя F достигает своего максимального значения, равного силе трения скольжения μN_2 :

$$F = \mu N_2$$

Отсюда находим коэффициент трения. Вводя отношение масс $k = M/m$, получаем:

$$\mu = \frac{F}{N_2} = \frac{N_1\cos\alpha}{Mg + N_1\sin\alpha} = \frac{3\,m\sin\alpha\cos\alpha}{M + 3\,m\sin^2\alpha} = \frac{3\,\sin 2\alpha}{2\,(\,k + 3\,\sin^2\alpha\,)} = 0{,}063$$

Ответ:

$$\mu = \frac{3\,\sin 2\alpha}{2\,(\,k + 3\,\sin^2\alpha\,)} = 0{,}063$$

11.3/1. Два одинаковых сосуда соединены короткой трубкой с краном. Сначала кран закрыт, в одном сосуде имеется $\nu_1 = 0{,}1$ моля гелия при давлении $P_1 = 0{,}5$ МПа, в другом – $\nu_2 = 0{,}2$ моля молекулярного азота N_2 при давлении $P_2 = 0{,}1$ МПа. Кран открывают, и газы начинают перемешиваться. В конечном состоянии оба сосуда заполнены однородной газовой смесью, находящейся в механическом и тепловом равновесии. Найдите давление P этой смеси. Ответ выразите в мегапаскалях и округлите до сотых. Стенки сосудов, трубка и кран не проводят тепло. Объём трубки не учитывайте.

Возможное решение

Пусть T_1 и T_2 — начальные температуры гелия и азота, T — конечная температура газовой смеси. Рассмотрим баланс энергии для системы, состоящей из двух газов. Так как тепло к системе не подводится и газы не совершают механическую работу, то внутренняя энергия системы сохраняется:

$$\frac{3}{2}\nu_1 RT_1 + \frac{5}{2}\nu_2 RT_2 = \frac{3}{2}\nu_1 RT + \frac{5}{2}\nu_2 RT \quad \longrightarrow \quad 3\,\nu_1 RT_1 + 5\,\nu_2 RT_2 = (\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)\,RT$$

Обозначим через V объём одного сосуда и запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для газов в начальном состоянии и для конечной газовой смеси:

$$P_1 V = \nu_1 RT_1\,; \quad P_2 V = \nu_2 RT_2$$

$$P \cdot 2V = (\,\nu_1 + \nu_2\,)\,RT \quad \longrightarrow \quad RT = \frac{2\,PV}{\nu_1 + \nu_2}$$

Подставляя эти результаты в уравнение баланса энергии, находим конечное давление газовой смеси:

$$3\,P_1 V + 5\,P_2 V = \frac{(\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)\,2\,PV}{\nu_1 + \nu_2} \quad \longrightarrow \quad P = \frac{(\,3\,P_1 + 5\,P_2\,)\,(\,\nu_1 + \nu_2\,)}{2\,(\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)} = 0{,}23 \text{ МПа}\,.$$

Ответ:

$$P = \frac{(\,3\,P_1 + 5\,P_2\,)\,(\,\nu_1 + \nu_2\,)}{2\,(\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)} = 0{,}23 \text{ МПа}\,.$$

11.3/2. Два одинаковых сосуда соединены короткой трубкой с краном. Сначала кран закрыт, в одном сосуде имеется гелий при давлении $P_1 = 0{,}3$ МПа, в другом — молекулярный азот N_2 при давлении $P_2 = 0{,}2$ МПа. Кран открывают, и газы начинают перемешиваться. В конечном состоянии оба сосуда заполнены однородной газовой смесью, находящейся в механическом и тепловом равновесии. Давление смеси $P = 0{,}2$ МПа. Найдите отношение x числа молей азота к числу молей гелия. Стенки сосудов, трубка и кран не проводят тепло. Объём трубки не учитывайте.

Возможное решение

Пусть T_1 и T_2 — начальные температуры гелия и азота, T — конечная температура газовой смеси, ν_1 и ν_2 — количества молей гелия и азота. Рассмотрим баланс энергии для системы, состоящей из двух газов. Так как тепло к системе не подводится и газы не совершают механическую работу, то внутренняя энергия системы сохраняется:

$$\frac{3}{2}\nu_1 RT_1 + \frac{5}{2}\nu_2 RT_2 = \frac{3}{2}\nu_1 RT + \frac{5}{2}\nu_2 RT \quad \longrightarrow \quad 3\,\nu_1 RT_1 + 5\,\nu_2 RT_2 = (\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)\,RT$$

Обозначим через V объём одного сосуда и запишем уравнение Клапейрона–Менделеева для газов в начальном состоянии и для конечной газовой смеси:

$$P_1 V = \nu_1 RT_1\,; \quad P_2 V = \nu_2 RT_2$$

$$P\cdot 2V = (\,\nu_1 + \nu_2\,)\,RT \quad \longrightarrow \quad RT = \frac{2\,PV}{\nu_1 + \nu_2}$$

Подставляя эти результаты в уравнение баланса энергии, получаем:

$$3\,P_1 V + 5\,P_2 V = \frac{(\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)\,2\,PV}{\nu_1 + \nu_2} \quad \longrightarrow \quad (\,3\,P_1 + 5\,P_2\,)\,(\,\nu_1 + \nu_2\,) = 2\,P\,(\,3\,\nu_1 + 5\,\nu_2\,)$$

Введём отношение числа молей азота к числу молей гелия:

$$x = \frac{\nu_2}{\nu_1}$$

Выражая отсюда ν_2, получаем:

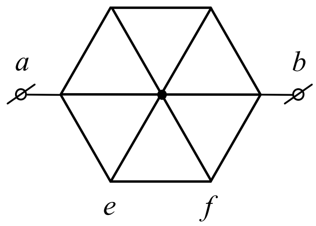
$$(\,3\,P_1 + 5\,P_2\,)\,(\,\nu_1 + x\,\nu_1\,) = 2\,P\,(\,3\,\nu_1 + 5\,x\,\nu_1\,) \quad \longrightarrow \quad (\,3\,P_1 + 5\,P_2\,)\,(\,1 + x\,) = 2\,P\,(\,3 + 5\,x\,)$$

$$3\,P_1 + 5\,P_2 + x\,(\,3\,P_1 + 5\,P_2\,) = 6\,P + 10\,P\,x \quad \longrightarrow \quad x = \frac{3\,P_1 + 5\,P_2 - 6\,P}{10\,P - 3\,P_1 - 5\,P_2} = 7$$

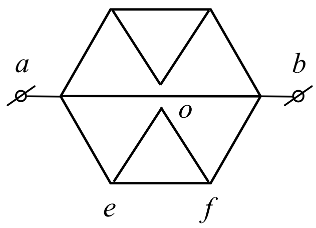
Ответ:

$$x = \frac{3\,P_1 + 5\,P_2 - 6\,P}{10\,P - 3\,P_1 - 5\,P_2} = 7$$

11.4/1. Из двенадцати одинаковых проволочных отрезков изготовлен каркас в виде правильного шестиугольника с диагоналями, соединёнными в центре. Каркас подключён к источнику постоянного напряжения за клеммы a и b. Найдите отношение $x = P\,/\,P_{ef}$, где P — тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, а P_{ef} — тепловая мощность, выделяющаяся на стороне шестиугольника ef. Сопротивление клемм не учитывайте.



Возможное решение



Так как каркас симметричен относительно горизонтальной прямой ab, то токи в ветвях не изменятся, если разъединить диагонали в точке их пересечения. В эквивалентной схеме рассморим нижнюю часть, состоящую из отрезков ae и fb и треугольника efo. Сопротивление треугольника обозначим через R_1, а сопротивление всей нижней части через R_2. Треугольник состоит из двух последовательно соединённых отрезков eo и of, параллельно которым подключён отрезок ef. Для сопротивления треугольника имеем:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{2\,R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{2\,R} \quad \longrightarrow \quad R_1 = \frac{2\,R}{3}$$

Сопротивление нижней части равно:

$$R_2 = 2\,R + R_1 = \frac{8\,R}{3}$$

Сопротивление верхней части каркаса, лежащей над прямой ab, также равно R_2. Учитывая также сопротивление $2\,R$ диагонали ab, для общего сопротивления каркаса R_0 получаем:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{2\,R} = \frac{5}{4\,R} \quad \longrightarrow \quad R_0 = \frac{4\,R}{5}$$

Пусть на клеммы a и b подано напряжение V. Тогда тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, равна:

$$P = \frac{V^2}{R_0} = \frac{5\,V^2}{4\,R}$$

Найдём напряжение V_1 на отрезке ef:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{4} \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{V}{4}$$

Для тепловой мощности, выделяющейся на этом отрезке, получаем:

$$P_{ef} = \frac{V_1^2}{R} = \frac{V^2}{16\,R}$$

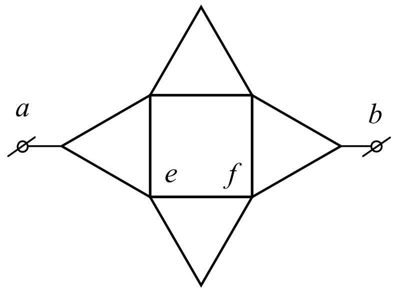
Отношение мощностей равно:

$$x = \frac{P}{P_{ef}} = \frac{5 \cdot 16}{4} = 20$$

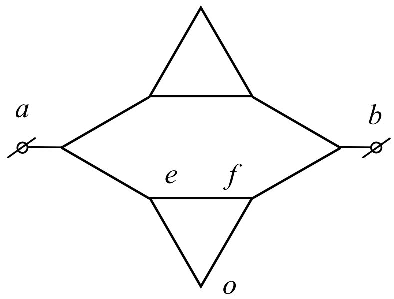
Ответ:

$$x = 20$$

11.4/2. Из двенадцати одинаковых проволочных отрезков изготовлен каркас, состоящий из четырёх правильных треугольников, внутренние стороны которых образуют квадрат. Каркас подключён к источнику постоянного напряжения за клеммы a и b. Найдите отношение $x = P\,/\,P_{ef}$, где P — тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, а P_{ef} — тепловая мощность, выделяющаяся на стороне квадрата ef. Сопротивление клемм не учитывайте.



Возможное решение



Так как каркас симметричен относительно горизонтальной прямой ab, то токи в вертикальных сторонах квадрата равны нулю. Убирая эти отрезки, приходим к эквивалентной схеме, в которой рассморим нижнюю часть, состоящую из отрезков ae и fb и треугольника efo. Сопротивление треугольника обозначим через R_1, а сопротивление всей нижней части через R_2. Треугольник состоит из двух последовательно соединённых отрезков eo и of, параллельно которым подключён отрезок ef. Для сопротивления треугольника имеем:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{2\,R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{2\,R} \quad \longrightarrow \quad R_1 = \frac{2\,R}{3}$$

Сопротивление нижней части равно:

$$R_2 = 2\,R + R_1 = \frac{8\,R}{3}$$

Сопротивление верхней части каркаса, лежащей над прямой ab, также равно R_2. Для общего сопротивления каркаса R_0 получаем:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} = \frac{3}{4\,R} \quad \longrightarrow \quad R_0 = \frac{4\,R}{3}$$

Пусть на клеммы a и b подано напряжение V. Тогда тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, равна:

$$P = \frac{V^2}{R_0} = \frac{3\,V^2}{4\,R}$$

Найдём напряжение V_1 на отрезке ef:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{4} \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{V}{4}$$

Для тепловой мощности, выделяющейся на этом отрезке, получаем:

$$P_{ef} = \frac{V_1^2}{R} = \frac{V^2}{16\,R}$$

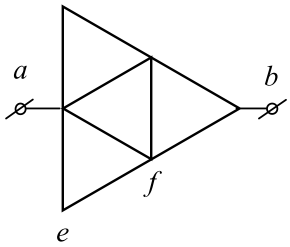
Отношение мощностей равно:

$$x = \frac{P}{P_{ef}} = \frac{3 \cdot 16}{4} = 12$$

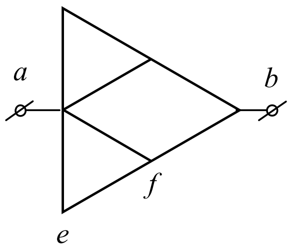
Ответ:

$$x = 12$$

11.4/3. Из девяти одинаковых проволочных отрезков изготовлен каркас, состоящий из правильных треугольников. Каркас подключён к источнику постоянного напряжения за клеммы a и b. Найдите отношение $x = P\,/\,P_{ef}$, где P — тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, а P_{ef} — тепловая мощность, выделяющаяся на отрезке ef. Сопротивление клемм не учитывайте.



Возможное решение



Так как каркас симметричен относительно горизонтальной прямой ab, то ток в вертикальном отрезке, проходящем через точку f, равен нулю. Убирая этот отрезок, приходим к эквивалентной схеме, в которой рассморим нижнюю часть, состоящую из треугольника aef и отрезка fb. Сопротивление треугольника обозначим через R_1, а сопротивление всей нижней части через R_2. Треугольник состоит из двух последовательно соединённых отрезков ae и ef, параллельно которым подключён отрезок af. Для сопротивления треугольника имеем:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{2\,R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{2\,R} \quad \longrightarrow \quad R_1 = \frac{2\,R}{3}$$

Сопротивление нижней части равно:

$$R_2 = R_1 + R = \frac{5\,R}{3}$$

Сопротивление верхней части каркаса, лежащей над прямой ab, также равно R_2. Для общего сопротивления каркаса R_0 получаем:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_2} = \frac{6}{5\,R} \quad \longrightarrow \quad R_0 = \frac{5\,R}{6}$$

Пусть на клеммы a и b подано напряжение V. Тогда тепловая мощность, выделяющаяся на всём каркасе, равна:

$$P = \frac{V^2}{R_0} = \frac{6\,V^2}{5\,R}$$

Найдём напряжение V_1 на треугольнике aef:

$$\frac{V_1}{V} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{2}{5} \quad \longrightarrow \quad V_1 = \frac{2\,V}{5}$$

Напряжение на отрезке ef равно:

$$V_{ef} = \frac{V_1}{2} = \frac{V}{5}$$

Для тепловой мощности, выделяющейся на этом отрезке, получаем:

$$P_{ef} = \frac{V_{ef}^2}{R} = \frac{V^2}{25\,R}$$

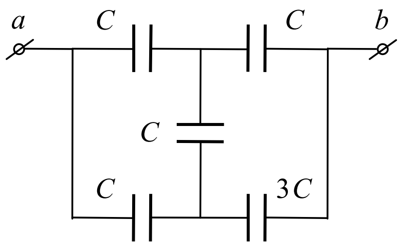
Отношение мощностей равно:

$$x = \frac{P}{P_{ef}} = \frac{6 \cdot 25}{5} = 30$$

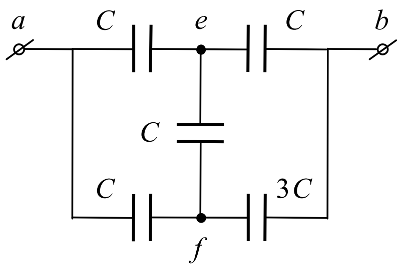
Ответ:

$$x = 30$$

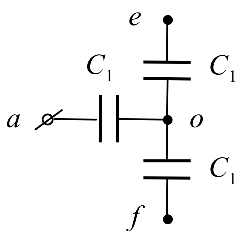
11.5/1. Четыре конденсатора ёмкостью C и один конденсатор ёмкостью $3C$ соединены в батарею, которая подключёна к источнику постоянного напряжения за клеммы a и b. Найдите отношение $x = (C_0 - C)/C$, где C_0 – ёмкость батареи. Ответ округлите до сотых.



Возможное решение



Воспользуемся преобразованием треугольник–звезда. В рассматриваемой схеме имеются треугольники aef и bef. Это замкнутые контуры, которые присоединяются к остальной цепи за три узла, причём между любыми двумя узлами включен один конденсатор. Удобнее работать с треугольником aef, поскольку он состоит из трёх одинаковых конденсаторов. Преобразуем этот треугольник в звезду.

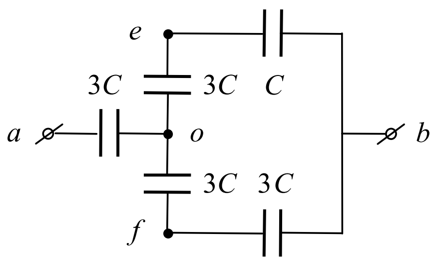


Очевидно, что все три конденсатора, входящие в состав звезды, имеют одну и ту же ёмкость C_1. Для того чтобы её найти, представим себе, что треугольник подключён к источнику за точки a и e. В этом случае имеем два последовательно соединённых конденсатора в ветвях af и fe. К ним параллельно присоединён конденсатор в ветви ae. Эквивалентная ёмкость треугольника в этом случае равна $3C/2$. Если подключить к источнику звезду за те же точки, то будем иметь два последовательно соединённых конденсатора в ветвях ao и oe (конденсатор в ветви of не заряжен). Эквивалентная ёмкость звезды равна $C_1/2$. Приравнивая ёмкости треугольника и звезды, находим C_1:

$$\frac{3C}{2} = \frac{C_1}{2} \quad \longrightarrow \quad C_1 = 3C$$

Заменяя в исходной схеме треугольник aef звездой, приходим к эквивалентной схеме, ёмкость которой легко найти, пользуясь стандартными правилами сложения ёмкостей при параллельном и последовательном соединениях конденсаторов. Для ёмкости батареи получаем:

$$C_0 = \frac{9C}{7}$$



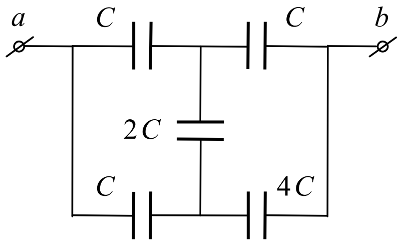
Искомое отношение x равно:

$$x = \frac{C_0 - C}{C} = \frac{2}{7} = 0{,}29$$

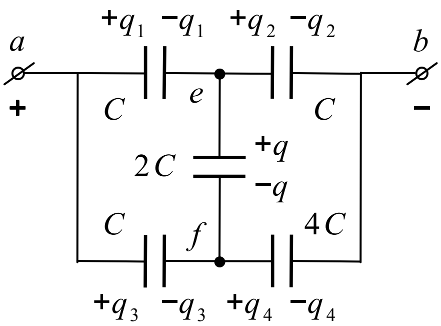
Ответ:

$$x = 0{,}29$$

11.5/2. Три конденсатора ёмкостью $C = 3$ мкФ, один конденсатор ёмкостью $2C$ и один конденсатор ёмкостью $4C$ соединены в батарею. Сначала все конденсаторы не заряжены, а затем батарею подключают к источнику постоянного напряжения $V = 12$ В за клеммы a и b. Найдите заряд q, который установится на конденсаторе ёмкостью $2C$. Ответ выразите в микрокулонах.



Возможное решение



Пусть положительный полюс батареи подключен к клемме a, а отрицательный к клемме b. Расставим заряды на обкладках конденсаторов. Три обкладки, соединённые в узле e, образуют изолированный проводник, полный заряд которого не меняется. Так как до подключения батареи заряды всех конденсаторов равнялись нулю, то

$$-q_1 + q_2 + q = 0$$

Для трёх обкладок, соединённые в узле f, имеем:

$$-q_3 + q_4 - q = 0$$

Приравнивая нулю алгебраическую сумму напряжений в замкнутом контуре $aefa$, получаем:

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q}{2C} - \frac{q_3}{C} = 0 \quad \longrightarrow \quad 2q_1 + q - 2q_3 = 0$$

Кроме того, сумма напряжений на двух верхних и двух нижних конденсаторах равна V. Имеем ещё два уравнения:

$$\frac{q_1}{C} + \frac{q_2}{C} = V \quad \longrightarrow \quad q_1 + q_2 = CV$$

$$\frac{q_3}{C} + \frac{q_4}{4C} = V \quad \longrightarrow \quad 4q_3 + q_4 = 4CV$$

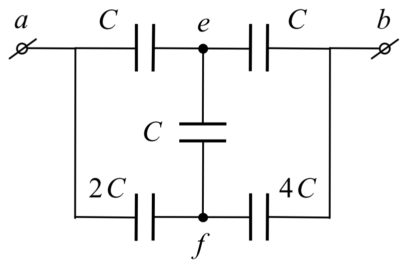
Получилась система пяти линейных уравнений для пяти неизвестных зарядов. Последовательно исключая неизвестные, находим заряд q:

$$q = \frac{CV}{4} = 9 \text{ мкКл}$$

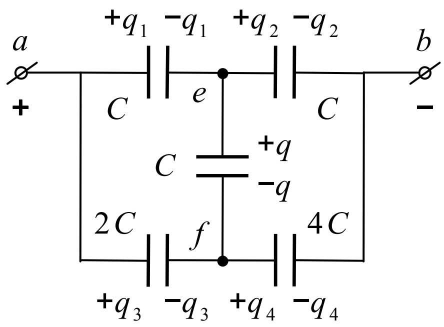
Ответ:

$$q = \frac{CV}{4} = 9 \text{ мкКл}$$

11.5/3. Три конденсатора ёмкостью C, один конденсатор ёмкостью $2C$ и один конденсатор ёмкостью $4C$ соединены в батарею. Сначала все конденсаторы не заряжены, а затем батарею подключают к источнику постоянного напряжения $V_0 = 40$ В за клеммы a и b. Найдите напряжение V, которое установится на участке ef. Ответ выразите в вольтах.



Возможное решение



Пусть положительный полюс батареи подключен к клемме a, а отрицательный к клемме b. Расставим заряды на обкладках конденсаторов. Три обкладки, соединённые в узле e, образуют изолированный проводник, полный заряд которого не меняется. Так как до подключения батареи заряды всех конденсаторов равнялись нулю, то

$$-q_1 + q_2 + q = 0$$

Переходя от зарядов к напряжениям на конденсаторах, получаем:

$$-C V_1 + C V_2 + C V = 0 \quad \longrightarrow \quad -V_1 + V_2 + V = 0$$

Для трёх обкладок, соединённые в узле f, имеем:

$$-q_3 + q_4 - q = 0 \quad \longrightarrow \quad -2 C V_3 + 4 C V_4 - C V = 0 \quad \longrightarrow \quad -2 V_3 + 4 V_4 - V = 0$$

Приравнивая нулю алгебраическую сумму напряжений в замкнутом контуре $aefa$, получаем:

$$V_1 + V - V_3 = 0$$

Кроме того, сумма напряжений на двух верхних и двух нижних конденсаторах равна V_0. Имеем ещё два уравнения:

$$V_1 + V_2 = V_0\,; \quad V_3 + V_4 = V_0$$

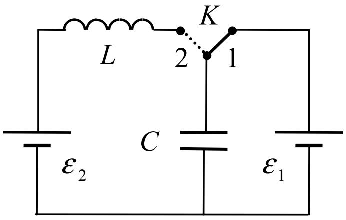
Получилась система пяти линейных уравнений для пяти неизвестных напряжений. Последовательно исключая неизвестные, находим напряжение V:

$$V = \frac{V_0}{10} = 4 \text{ В}$$

Ответ:

$$V = \frac{V_0}{10} = 4 \text{ В}$$

11.6/1. Цепь состоит из ключа K, конденсатора ёмкостью $C = 0{,}9$ нФ, катушки индуктивностью $L = 36$ мкГн и двух батарей с эдс $\varepsilon_1 = 12$ В и $\varepsilon_2 = 9$ В. Пренебрегая излучением и сопротивлением всех элементов цепи, найдите максимальное значение I_m тока в катушке после перевода ключа из положения 1 в положение 2. Ответ выразите в миллиамперах.



Возможное решение

Когда ключ находится в положении 1, напряжение на конденсаторе равно ε_1 и заряд его верхней обкладки равен:

$$q_1 = C\,\varepsilon_1$$

После перевода ключа в положение 2 в левом контуре возникают электромагнитные колебания. Если пренебречь излучением и сопротивлением всех элементов цепи, то эти колебания будут незатухающими. Эдс самоиндукции, возникающая в катушке, пропорциональна скорости изменения тока:

$$\varepsilon = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

В те моменты времени, когда ток максимален, скорость его изменения обращается в нуль. По этой причине эдс самоиндукции также равна нулю. В эти моменты напряжение на конденсаторе равно ε_2 и заряд его верхней обкладки равен:

$$q_2 = C\,\varepsilon_2$$

Рассмотрим баланс энергии в левом контуре:

$$A = \Delta W + \frac{LI_m^2}{2}$$

Здесь A — работа батареи ε_2, ΔW — приращение энергии конденсатора. Через батарею в направлении действия её эдс прошёл заряд $(\,q_2 - q_1\,)$. Поэтому работа батареи равна:

$$A = (\,q_2 - q_1\,)\,\varepsilon_2 = C\,\varepsilon_2\,(\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1\,)$$

Обозначим через W_1 и W_2 начальную и конечную энергии конденсатора. Имеем:

$$W_1 = \frac{C\varepsilon_1^2}{2}\,; \quad W_2 = \frac{C\varepsilon_2^2}{2} \quad \longrightarrow \quad \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C\,(\,\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2\,)}{2}$$

Из полученных соотношений находим максимальный ток через катушку:

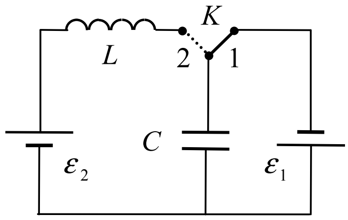
$$\frac{LI_m^2}{2} = A - \Delta W = C\,\varepsilon_2\,(\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1\,) - \frac{C\,(\,\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2\,)}{2} = \frac{C\,(\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1\,)^2}{2}$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L}}\,|\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1\,| = 15 \text{ мА}$$

Ответ:

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L}}\,|\,\varepsilon_2 - \varepsilon_1\,| = 15 \text{ мА}$$

11.6/2. Цепь состоит из ключа K, конденсатора ёмкостью $C = 0{,}2$ нФ, катушки индуктивностью $L = 50$ мкГн и двух батарей с эдс $\varepsilon_1 = 9$ В и $\varepsilon_2 = 4{,}5$ В. Пренебрегая излучением и сопротивлением всех элементов цепи, найдите максимальное значение I_m тока в катушке после перевода ключа из положения 1 в положение 2. Ответ выразите в миллиамперах.



Возможное решение

Когда ключ находится в положении 1, напряжение на конденсаторе равно ε_1 и заряд его верхней обкладки равен:

$$q_1 = -C\,\varepsilon_1$$

После перевода ключа в положение 2 в левом контуре возникают электромагнитные колебания. Если пренебречь излучением и сопротивлением всех элементов цепи, то эти колебания будут незатухающими. Эдс самоиндукции, возникающая в катушке, пропорциональна скорости изменения тока:

$$\varepsilon = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

В те моменты времени, когда ток максимален, скорость его изменения обращается в нуль. По этой причине эдс самоиндукции также равна нулю. В эти моменты напряжение на конденсаторе равно ε_2 и заряд его верхней обкладки равен:

$$q_2 = +C\,\varepsilon_2$$

Рассмотрим баланс энергии в левом контуре:

$$A = \Delta W + \frac{LI_m^2}{2}$$

Здесь A — работа батареи ε_2, ΔW — приращение энергии конденсатора. Через батарею в направлении действия её эдс прошёл заряд $(\,q_2 - q_1\,)$. Поэтому работа батареи равна:

$$A = (\,q_2 - q_1\,)\,\varepsilon_2 = C\,\varepsilon_2\,(\,\varepsilon_2 + \varepsilon_1\,)$$

Обозначим через W_1 и W_2 начальную и конечную энергии конденсатора. Имеем:

$$W_1 = \frac{C\varepsilon_1^2}{2}\,; \quad W_2 = \frac{C\varepsilon_2^2}{2} \quad \longrightarrow \quad \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C\,(\,\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2\,)}{2}$$

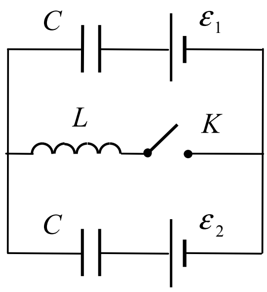
Из полученных соотношений находим максимальный ток через катушку:

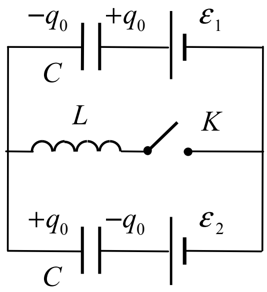
$$\frac{LI_m^2}{2} = A - \Delta W = C\,\varepsilon_2\,(\,\varepsilon_2 + \varepsilon_1\,) - \frac{C\,(\,\varepsilon_2^2 - \varepsilon_1^2\,)}{2} = \frac{C\,(\,\varepsilon_1 + \varepsilon_2\,)^2}{2}$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L}}\,(\,\varepsilon_1 + \varepsilon_2\,) = 27 \text{ мА}$$

Ответ:

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{L}}\,(\,\varepsilon_1 + \varepsilon_2\,) = 27 \text{ мА}$$





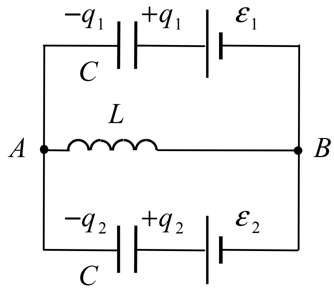
11.6/3. Цепь состоит из ключа K, катушки индуктивностью $L = 49$ мкГн, двух конденсаторов ёмкостью $C = 0{,}8$ нФ и двух батарей с эдс $\varepsilon_1 = 6$ В и $\varepsilon_2 = 4{,}5$ В. Пренебрегая излучением и сопротивлением всех элементов цепи, найдите максимальное значение I_m тока в катушке после замыкания ключа. Ответ выразите в миллиамперах.

Возможное решение

Найдём заряд конденсаторов в случае, когда ключ разомкнут. Две батареи, включенные навстречу друг другу, эквивалентны одной батарее с эдс $(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$. Два одинаковых конденсатора, соединённых последовательно, можно заменить одним конденсатором с ёмкостью $C/2$. Тогда начальный заряд конденсаторов q_0 равен:

$$q_0 = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2}$$

После замыкания ключа в цепи возникают электромагнитные колебания. Если пренебречь излучением и сопротивлением всех элементов, то эти колебания будут незатухающими. Эдс самоиндукции, возникающая в катушке, пропорциональна скорости изменения тока:



$$\varepsilon = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

В те моменты времени, когда ток максимален, скорость его изменения обращается в нуль. По этой причине эдс самоиндукции также равна нулю, потенциалы точек A и B совпадают, напряжение на верхнем конденсаторе равно ε_1, а на нижнем ε_2. Для зарядов на конденсаторах имеем:

$$q_1 = C\,\varepsilon_1\,; \quad q_2 = C\,\varepsilon_2$$

Рассмотрим баланс энергии в цепи:

$$A = \Delta W + \frac{LI_m^2}{2}$$

Здесь A — суммарная работа батарей, ΔW — приращение энергии конденсаторов. Через верхнюю батарею в направлении действия её эдс прошёл заряд $(q_1 - q_0)$. Работа этой батареи равна:

$$A_1 = (q_1 - q_0)\,\varepsilon_1 = \frac{C\,\varepsilon_1\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2}$$

Через нижнюю батарею в направлении действия её эдс прошёл заряд $(q_2 + q_0)$. Для работы этой батареи имеем:

$$A_2 = (q_2 + q_0)\,\varepsilon_2 = \frac{C\,\varepsilon_2\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2}$$

В сумме получаем:

$$A = A_1 + A_2 = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{2}$$

Обозначим через W_1 и W_2 начальную и конечную энергии конденсаторов. Имеем:

$$W_1 = 2 \cdot \frac{q_0^2}{2\,C} = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{4}\,; \quad W_2 = \frac{C\,(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)}{2} \quad \longrightarrow \quad \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{4}$$

Из полученных соотношений находим максимальный ток через катушку:

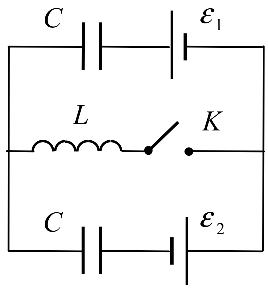
$$\frac{LI_m^2}{2} = A - \Delta W = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{2} - \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{4} = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{4}$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{2\,L}}\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 30 \text{ мА}$$

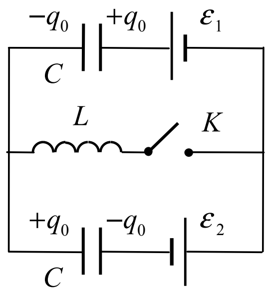
Ответ:

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{2\,L}}\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = 30 \text{ мА}$$

11.6/4. Цепь состоит из ключа K, катушки индуктивностью $L = 25$ мкГн, двух конденсаторов ёмкостью $C = 1{,}8$ нФ и двух батарей с эдс $\varepsilon_1 = 9$ В и $\varepsilon_2 = 6$ В. Пренебрегая излучением и сопротивлением всех элементов цепи, найдите максимальное значение I_m тока в катушке после замыкания ключа. Ответ выразите в миллиамперах.



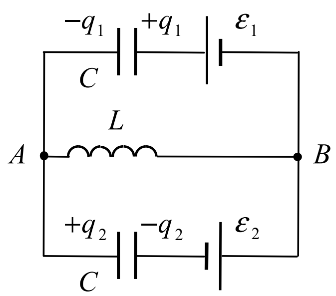
Возможное решение



Найдём заряд конденсаторов в случае, когда ключ разомкнут. Две батареи, включенные последовательно друг за другом, эквивалентны одной батарее с эдс $(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)$. Два одинаковых конденсатора, соединённых последовательно, можно заменить одним конденсатором с ёмкостью $C/2$. Тогда начальный заряд конденсаторов q_0 равен:

$$q_0 = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}{2}$$

После замыкания ключа в цепи возникают электромагнитные колебания. Если пренебречь из-



лучением и сопротивлением всех элементов, то эти колебания будут незатухающими. Эдс самоиндукции, возникающая в катушке, пропорциональна скорости изменения тока:

$$\varepsilon = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}$$

В те моменты времени, когда ток максимален, скорость его изменения обращается в нуль. По этой причине эдс самоиндукции также равна нулю, потенциалы точек A и B совпадают, напряжение на верхнем конденсаторе равно ε_1, а на нижнем ε_2. Для зарядов на конденсаторах имеем:

$$q_1 = C\,\varepsilon_1\,; \quad q_2 = C\,\varepsilon_2$$

Рассмотрим баланс энергии в цепи:

$$A = \Delta W + \frac{LI_m^2}{2}$$

Здесь A — суммарная работа батарей, ΔW — приращение энергии конденсаторов. Через верхнюю батарею в направлении действия её эдс прошёл заряд $(q_1 - q_0)$. Работа этой батареи равна:

$$A_1 = (q_1 - q_0)\,\varepsilon_1 = \frac{C\,\varepsilon_1\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2}$$

Через нижнюю батарею против направления действия её эдс прошёл заряд $(q_0 - q_2)$. Для работы этой батареи имеем:

$$A_2 = -\,(q_0 - q_2)\,\varepsilon_2 = -\frac{C\,\varepsilon_2\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{2}$$

В сумме получаем:

$$A = A_1 + A_2 = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{2}$$

Обозначим через W_1 и W_2 начальную и конечную энергии конденсаторов. Имеем:

$$W_1 = 2 \cdot \frac{q_0^2}{2\,C} = \frac{C\,(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)^2}{4}\,; \quad W_2 = \frac{C\,(\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2)}{2} \quad \longrightarrow \quad \Delta W = W_2 - W_1 = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{4}$$

Из полученных соотношений находим максимальный ток через катушку:

$$\frac{LI_m^2}{2} = A - \Delta W = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{2} - \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{4} = \frac{C\,(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2}{4}$$

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{2\,L}}\,|\,\varepsilon_1 - \varepsilon_2\,| = 18 \text{ мА}$$

Ответ:

$$I_m = \sqrt{\frac{C}{2\,L}}\,|\,\varepsilon_1 - \varepsilon_2\,| = 18 \text{ мА}$$