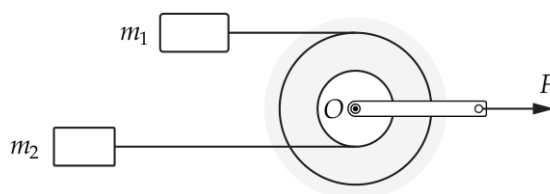


МОШ, 2021/22, отборочный этап, 11 класс

Условия, ответы и решения

1 Ускорение оси

Двухступенчатый блок (см. рис.) состоит из лёгких, жёстко соединённых дисков, которые могут вращаться без трения вокруг оси O пренебрежимо малой массы. Диаметры дисков отличаются в два раза. К концам лёгких нерастяжимых нитей, намотанных на диски блока, присоединены грузы массой: $m_1 = 0,5$ кг и $m_2 = 0,4$ кг. Система находится на гладком горизонтальном столе. К оси блока приложена сила, равная $F = 1,8$ Н. Найдите ускорение оси блока a_O . Ответ дайте в м/с^2 .



Подсказка

Блок невесом, значит, сумма моментов сил на него равна нулю: как делятся силы натяжения двух нитей? Кинематическую связь удобно писать в системе отсчёта блока.

Ответ

$$a_O = 2,4 \text{ м/с}^2.$$

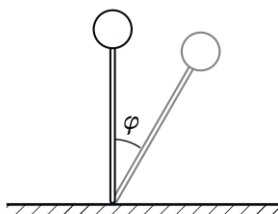
Решение

Поскольку блок не имеет массы, силы натяжения нитей равны: $T_1 = F/3$ и $T_2 = 2F/3$. Уравнение кинематической связи записывается в системе отсчёта, связанной с блоком: $a_0 - a_1 = 2a_2 - 2a_0$.

2 Предельный коэффициент

На конце невесомого достаточно длинного стержня закреплён небольшой, но тяжёлый шарик. Сначала стержень располагается вертикально на шероховатой горизонтальной поверхности стола в состоянии неустойчивого равновесия. От незначительного толчка стержень с шариком приходят в движение. Чему равно минимальное значение коэффициента трения μ между стержнем и горизонтальной поверхностью, если в процессе движения стержень по столу не проскальзывает по крайней мере до тех пор, пока не повернётся на угол, равный $\varphi = \pi/6$? В ответе к задаче следует указать номер столбца таблицы, в котором стоит значение, наиболее близкое к найденному вами.

№	1	2	3	4	5	6
μ	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0



Подсказка

Скорость шарика найдите из закона сохранения энергии, а силы трения и реакции опоры — из движения шарика по окружности вокруг нижнего конца стержня. Проскальзывания нет, пока $F_{\text{тр}} \leq \mu N$ на всём пути.

Ответ

Ответ 3 ($\mu \approx 0,6$).

Решение

$\mu = \operatorname{tg} \varphi \approx 0,6$. Ответ 3.

3 Расширение ограничено

В газонепроницаемой оболочке, которая может свободно растягиваться (так что давление снаружи оболочки всегда равно давлению внутри) содержится моль гелия при температуре $T_0 = 100$ К. Оболочка располагается внутри жёсткой сферы объёмом $2V$, в которой сделаны многочисленные маленькие сквозные отверстия. В начальный момент объём гелия равен V , оболочка находится в равновесии. Систему медленно нагревают, увеличивая её температуру в три раза. Какое количество теплоты Q сообщается гелию при этом? Универсальная газовая постоянная равна $R = 8,3$ Дж/(моль·К). Ответ дайте в кДж, округлите до десятых.

Подсказка

Пока оболочка не упёрлась в сферу, процесс изобарный; после этого объём не меняется. Найдите температуру, при которой оболочка заполнит сферу, и сложите теплоты двух стадий.

Ответ

$Q = 4\nu RT_0 \approx 3,3$ кДж.

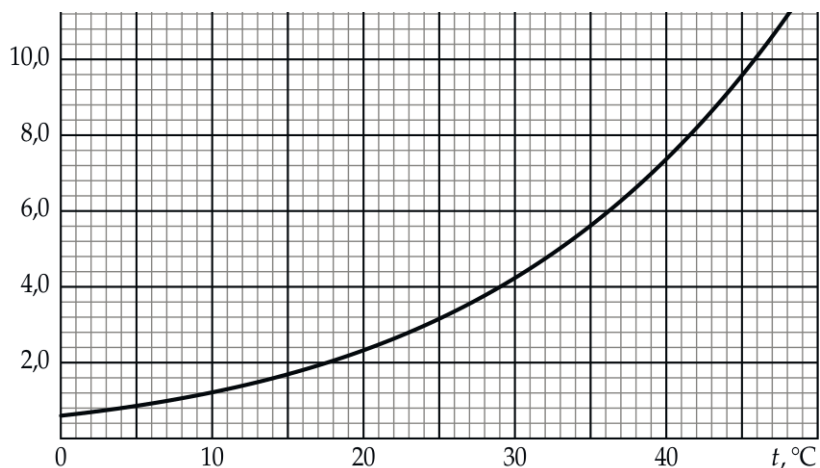
Решение

Сначала тепло подводится при постоянном давлении, затем при постоянном объёме. Ответ: $Q = 4\nu RT_0 = 3,3$ кДж.

4 Давление в сосуде

В герметичном сосуде при температуре $t_1 = 47^\circ\text{C}$ и давлении $p_1 = 16$ кПа находится одинаковое число молей воздуха и водяного пара. Сосуд медленно охлаждают до температуры $t_2 = 7^\circ\text{C}$. Чему равно давление p_2 в сосуде при температуре t_2 ? Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры показана на графике ниже. В ответе к задаче следует указать номер столбца таблицы, в котором стоит значение, наиболее близкое к найденному вами.

№	1	2	3	4	5	6
p_2 , кПа	1,0	3,5	7,0	8,0	10,0	14,0



К задаче 4

Подсказка

Проверьте, остаётся ли пар ненасыщенным при 7°C : сравните его парциальное давление при изохорном охлаждении с давлением насыщения по графику.

Ответ

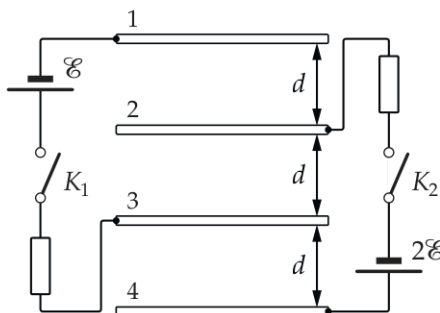
Ответ 4 ($p_2 \approx 8$ кПа).

Решение

Пар в конце процесса будет насыщенным: $p_2 \approx 1 \text{ кПа} + \frac{7}{8} \cdot \frac{p_1}{2} = 8 \text{ кПа}$. Ответ 4.

5 Ключи с пластинами

Одинаковые металлические пластины: 1, 2, 3 и 4 (рис. ниже) площадью $S = 100 \text{ см}^2$ располагаются на расстоянии $d = 0,1 \text{ мм}$ друг от друга. На рисунке расстояния непропорционально увеличены. Значение ЭДС равно $\mathcal{E} = 4,0 \text{ В}$. Электрическая постоянная равна $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$. В начальный момент ключи K_1 и K_2 разомкнуты и пластины не заряжены. Замыкают ключ K_1 и после того, как ток через батарею с ЭДС $\mathcal{E}$ станет равен нулю, замыкают ключ K_2 .



К задаче 5

1. Найдите количество теплоты Q_1 , выделяющееся в цепи до замыкания ключа K_2 . (2 балла)
2. Какое количество теплоты Q_2 выделяется в цепи после замыкания ключа K_2 ? (5 баллов)

Ответы дайте в нДж ($1 \text{ нДж} = 10^{-9} \text{ Дж}$). Округлите до десятых.

Подсказка

Выясните, какие пластины и как образуют конденсаторы в каждом положении ключей. Теплота во втором случае — по закону сохранения энергии с учётом работы обеих батарей.

Ответ

1) $Q_1 \approx 3,5 \text{ нДж}$; 2) $Q_2 \approx 10,6 \text{ нДж}$.

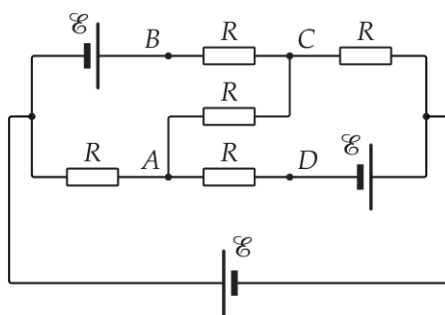
Решение

а. До замыкания ключа K_2 выделяется количество теплоты, равное $Q_1 = \frac{(C/2)\mathcal{E}^2}{2} \approx 3,5 \text{ нДж}$, при этом $C = 8,85 \cdot 10^{-10} \text{ Ф}$ — ёмкость конденсатора, образованного двумя соседними пластинами.

б. После замыкания ключа K_2 и окончания переходного процесса заряды пластин 1 и 3 станут равны нулю. Количество теплоты находится по закону сохранения энергии, при этом первая батарея совершает отрицательную работу. $Q_2 = \frac{3C\mathcal{E}^2}{4} \approx 10,6 \text{ нДж}$.

6 Показания вольтметра

Из одинаковых резисторов и батареек с пренебрежимо малым внутренним сопротивлением и ЭДС $\mathcal{E} = 4,0 \text{ В}$ собрали цепь, схема которой изображена на рис.



К задаче 6

1. Что покажет идеальный вольтметр, подключенный к узлам B и D цепи? (1 балл)
2. Найдите показания идеального вольтметра, подключенного к узлам A и C . (4 балла)

Ответы дайте в вольтах. Полярность подключения вольтметра не учитывайте.

Подсказка

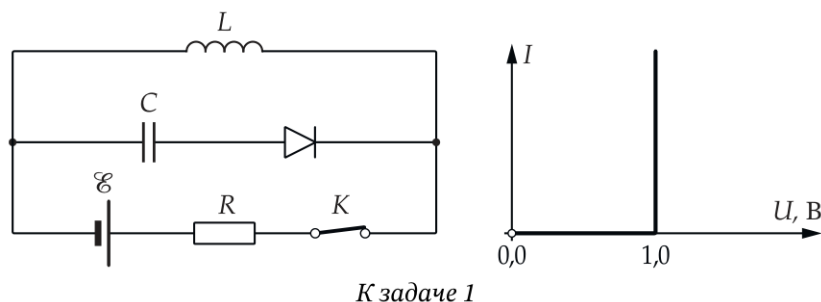
Идеальный вольтметр не меняет токов в цепи: найдите потенциалы узлов, идя по участкам с известными ЭДС, и воспользуйтесь симметрией резисторов.

Ответ

1) 12 В; 2) 2 В.

7 Контур с диодом

В цепи, схема которой изображена на рисунке слева, ключ K изначально замкнут, а ток через источник ЭДС не меняется. Значения параметров цепи равны: $\mathcal{E} = 4,5$ В, $L = 24$ мГн, $C = 10$ мкФ, $R = 45$ Ом. Вольт-амперная характеристика диода показана на рисунке справа. Внутренним сопротивлением батареи можно пренебречь. Ключ размыкают, при этом искры в контакте не возникает (система находится в вакууме, размыкание производят очень быстро). Ответьте на следующие вопросы, выразите ответы в Вольтах, округлите до целых.



1. Чему равна ЭДС индукции в катушке сразу после размыкания ключа? (1 балл)
2. Определите максимальное значение ЭДС индукции. (3 балла)
3. Чему равно напряжение на конденсаторе через большое время после размыкания ключа? (2 балла)

Подсказка

Ток катушки не может измениться скачком. Диод открыт, пока напряжение на нём не меньше порогового, и закрывается при смене знака тока; смотрите, как это ограничивает напряжение на катушке.

Ответ

1) 1 В; 2) 5 В; 3) 4 В.

8 Расчёт цикла

С некоторой массой идеального газа совершают цикл, состоящий из изотермического расширения, изохорического охлаждения и адиабатического сжатия. Известно, что КПД цикла равен $\eta = 20\%$.

1. В какое количество раз n работа газа при расширении больше работы газа за цикл? (2 балла)

№	1	2	3	4	5	6
n	1,25	2,5	4,0	5,0	6,25	7,5

2. Найдите отношение $k = Q_x/A$, отведённого от газа количества теплоты Q_x , к работе A газа, совершённой им за цикл. (2 балла)

№	1	2	3	4	5	6
k	1,25	2,5	4,0	5,0	6,25	7,5

Подсказка

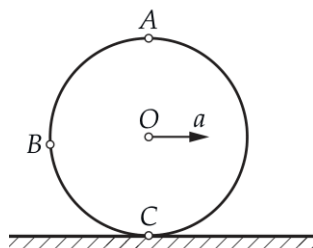
На каких участках цикла газ получает тепло, а на каких отдаёт? При изотермическом расширении внутренняя энергия не меняется.

Ответ

- 1) №4 ($n = 5$); 2) №3 ($k = 4$).

9 Ускорения точек колеса

Колесо катится без проскальзывания по горизонтальной плоскости, при этом ось колеса движется с ускорением $a = 1 \text{ м/с}^2$. В некоторый момент времени ускорение нижней точки колеса (т. C) оказывается равно a . В этот момент определите ускорение следующих точек колеса:



1. т. A , лежащей на вертикальном диаметре колеса (3 балла);
2. т. B , лежащей на горизонтальном диаметре (2 балла).

Ответы выразите в м/с^2 , округлите до десятых.

Подсказка

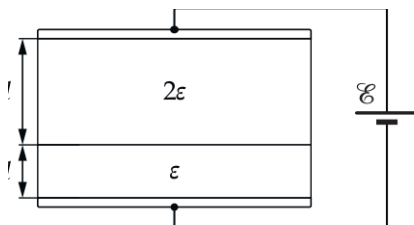
В системе отсчёта оси ускорение любой точки — сумма центростремительного и тангенциального вклада вращения и ускорения оси. Условие на точку C связывает угловую скорость и угловое ускорение.

Ответ

- 1) $2,2 \text{ м/с}^2$; 2) $2,2 \text{ м/с}^2$.

10 Диэлектрики внутри

Между обкладками плоского конденсатора (см. рисунок) находятся: пластина толщиной $d = 0,885$ мкм из диэлектрика с проницаемостью $\varepsilon = 10$ и пластина толщиной $2d = 1,77$ мкм из материала с диэлектрической проницаемостью $2\varepsilon = 20$. Конденсатор подключен к источнику с ЭДС $\mathcal{E} = 48$ В. Размеры обкладок конденсатора значительно больше расстояния между ними. Электрическая постоянная: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.



1. Найдите поверхностную плотность свободных зарядов на верхней обкладке конденсатора. (3 балла)
2. Чему равна суммарная поверхностная плотность поляризационных зарядов на границе раздела диэлектриков? (4 балла)

Ответы выразите в мКл/м², округлите до десятых.

Подсказка

Вектор электрического смещения D одинаков в обоих слоях и равен поверхностной плотности свободных зарядов; напряжение — сумма $D d_i / (\varepsilon_i \varepsilon_0)$ по слоям. Поляризационный заряд на границе — разность поляризаций слоёв.

Ответ

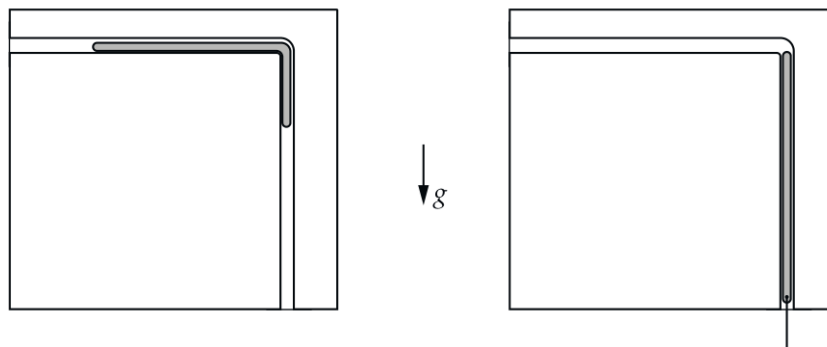
- 1) 2,4 мКл/м²; 2) 0,1 мКл/м².

11 Верёвка в канале

Однородная гибкая верёвка массой $m = 0,18$ кг и длиной $L = 1,8$ м удерживается в узком канале, образованном каменными блоками, при этом в начальный момент треть верёвки висит вертикально (см. рисунок, слева). Поверхности блоков гладкие. В некоторый момент верёвку отпускают, и она начинает двигаться. Можно считать, что в процессе движения все точки верёвки в любой момент времени имеют одинаковые по модулю скорости, а длина верёвки не меняется. Неупругими деформациями и трением о воздух можно пренебречь. Диаметр верёвки и радиус кривизны в точке перегиба значительно меньше длины верёвки. Поперечный размер канала близок к диаметру верёвки. Ускорение свободного падения g считайте равным 10 м/с².

1. На какое расстояние по вертикали опустится центр масс верёвки относительно своего первоначального положения к тому моменту, когда вся верёвка окажется в вертикальной части канала? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целого. (2 балла)
2. С какой скоростью v_1 будет двигаться верёвка в тот момент, когда полностью соскользнёт с горизонтальной поверхности (см. рисунок, справа)? Ответ дайте в м/с, округлите до целого. (3 балла)

3. Найдите абсолютную величину импульса верёвки в момент, когда её треть ещё находится на горизонтальной поверхности. Ответ выразите в кг·м/с, округлите до сотых. (2 балла)



Подсказка

Работает закон сохранения энергии: считайте, как меняется потенциальная энергия, когда часть верёвки переходит из горизонтальной части в вертикальную. Импульс — это $m_{\text{вис}}v$ плюс $m_{\text{гор}}v$ с учётом направлений скоростей на двух участках.

Ответ

- 1) 80 см; 2) 4 м/с; 3) 0,33 кг·м/с.