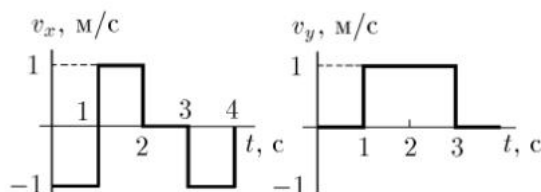


Задание №1 «На оценку».

Частица движется в одной плоскости. По графикам зависимости от времени проекций v_x и v_y скорости постройте траекторию частицы, если $x(0) = 2\text{м}$, $y(0) = 1\text{м}$.



Возможное решение:

Учитывая физический смысл площади под графиком скорости от времени, получаем графики зависимости координаты от времени:

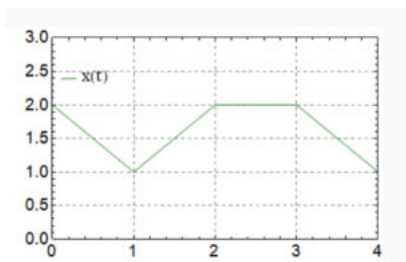


График зависимости $x(t)$

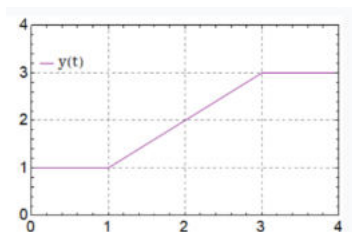
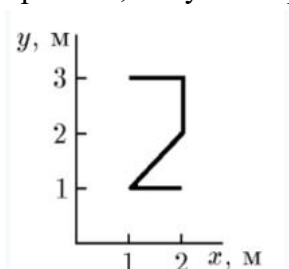


График зависимости $y(t)$

Накладывая, график зависимости $x(t)$ и $y(t)$ друг на друга в соответствующие промежутки времени, получаем траекторию движения:



Критерии оценивания:

- 1) Записано выражение $x(t)$ и построен график – 2 балла.
- 2) Записано выражение $y(t)$ и построен график – 2 балла.
- 3) Получено выражение для $y(x)$ – 4 балла.
- 4) Построен график траектории движение – 2 балла.

Всего 10 баллов.

Задание №2 «Физику решать – не мешки ворочать».

Учитель физики попросила двоих учеников 10 класса помочь с перестановкой мебели в кабинете. В частности, нужно было перенести тумбочку от одной стены к другой. Юные физики начали между собой спорить – как проще всего это сделать: равномерно толкать или «катить», ставя на ребро, а потом отпуская. Тумбочка была кубической формы со стороной $l = 1,4$ м и массой $m = 25$ кг. Перенести ее нужно было на расстояние L , кратное длине ребра куба с $N=7$. Коэффициент трения куба о пол μ такой, что ребро, касающееся пола, в процессе движения не скользит. Какую минимальную работу нужно совершить ребятам в первом случае? Во втором? Какой способ энергетически выгоднее и во сколько раз, если коэффициент трения куба о пол $\mu = 0,8$?

Возможное решение:

Чтобы передвинуть куб первым способом, требуется прикладывать силу

$$F_1 = \mu mg.$$

Работа, которая совершается при первом способе передвижения:

$$A_1 = F_1 L = \mu mgL = 0,8mgL.$$

При втором способе куб нужно поставить на ребро N раз

$$N = L/l.$$

С каждым разом, когда куб встает на ребро, центр масс куба поднимается на высоту:

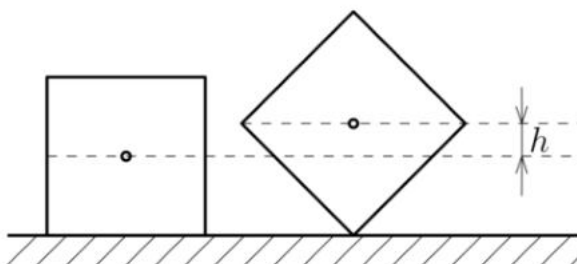
$$h = (\sqrt{2} - 1)l/2$$

Значит работа, которую требуется совершить, чтобы перекатить куб на расстояние L , может быть найдена из закона сохранения энергии:

$$A_2 = mghN = \frac{(\sqrt{2}-1)l}{2} \frac{mgL}{l} = \frac{(\sqrt{2}-1)mgL}{2} \approx 0,2mgL.$$

В силу условия, накладываемого на коэффициент трения, $A_2 < A_1$, причем

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{2\mu}{\sqrt{2}-1} \cong 4$$



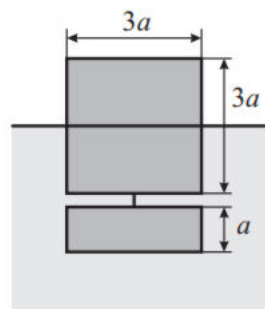
Критерии оценивания:

- 1) Рассчитана работа A_1 , необходимая, чтобы толкать куб – **3 балла**.
- 2) Рассчитана работа A_2 , необходимая, чтобы передвинуть куб вторым способом – **5 бал.**
- 3) Произведено сравнение A_1 и A_2 – **2 балла**.

Всего 10 баллов

Задание №3 «Тонет – не потонет».

Сплошной куб с ребром длиной $3a$ будет плавать в масле, погружаясь на половину своего объёма, если снизу к нему прикрепить груз размером $3a \times 3a \times a$ с массой в 2 раза большей массы куба. Какова плотность материала, из которого сделан куб? Какое минимальное количество таких грузов нужно прикрепить снизу к кубу, чтобы вся система утонула? Плотность масла равна 900 кг/м^3 , объёмом и массой креплений можно пренебречь.



Возможное решение:

Пусть m – масса большого куба, тогда $2m$ – масса одного груза. Запишем условие плавания для системы, состоящей из куба, погруженного наполовину, и одного груза:

$$3mg = \rho_m g \left(\frac{27a^3}{2} + 9a^3 \right) \longrightarrow 3m = \rho_m \times \frac{45a^3}{2} \longrightarrow m = \frac{15\rho_m a^3}{2}$$

Плотность куба ρ равна

$$\rho = \frac{m}{27a^3} = \frac{5\rho_m}{18} = 250 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Чтобы ответить на второй вопрос задачи, рассмотрим систему из куба, погруженного полностью, и N грузов.

Для того чтобы найти минимальное N , запишем условие плавания этой системы:

$$(m + N \times 2m)g = \rho_m g (27a^3 + N \times 9a^3) \longrightarrow m(2N + 1) = 9\rho_m a^3 (N + 3)$$

Подставляя сюда выражение для массы куба, получим

$$m = \frac{15\rho_m a^3}{2} (2N + 1) = 9\rho_m a^3 (N + 3) \longrightarrow 15(2N + 1) = 18(N + 3) \longrightarrow N = \frac{13}{4} = 3,25$$

Это значит, что минимальное количество грузов, которое необходимо прикрепить к кубу, чтобы утопить его, равно $N = 4$.

Ответ: 1) $\rho = 250 \text{ кг/м}^3$. 2) 4 груза.

Критерии оценивания:

- 1) Записано условие плавания для куба и одного груза - **2 балла**
- 2) Найдена плотность куба - **2 балла**
- 3) Записано условие плавания для куба и N грузов - **3 балла**
- 4) Получено, что $N = 3,25$ - **2 балла**
- 5) Получен окончательный ответ $N = 4$ - **1 балл**

Всего 10 баллов.

Задание №4 «Сырость».

Сухие дрова плотностью $\rho_1 = 600 \text{ кг/м}^3$, привезённые со склада, свалили под открытым небом и ничем не укрыли. Дрова промокли, и их плотность стала равной $\rho_2 = 700 \text{ кг/м}^3$. Для того, чтобы в холодную, но не морозную погоду (при температуре $T = 0^\circ\text{C}$) протопить дом до комнатной температуры, нужно сжечь в печи $M_1 = 20 \text{ кг}$ сухих дров. Оцените, сколько нужно сжечь мокрых дров, чтобы протопить дом до той же комнатной температуры? Удельная теплота парообразования воды $L = 2,3 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, удельная теплоёмкость воды $C = 4200 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{C)}$, удельная теплота сгорания сухих дров $q = 10^7 \text{ Дж/кг}$.

Возможное решение:

Для того, чтобы сообщить количество теплоты дому и одновременно перевести в парообразное состояние некоторое количество воды, которая содержится в мокрых дровах, требуется сжечь мокрых дров больше, чем сухих.

Из трубы дым выходит с температурой 100°C . Температура на улице 0°C .

Тогда при сжигании массы $m_0 = 1 \text{ кг}$ мокрых дров, вода в дровах нагревается на $\Delta T = 100^\circ\text{C}$ и испаряется масса воды: $m = m_0 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{7} \text{ кг}$.

При этом сгорает сухая древесина массой: $M = m_0 - m = m_0 \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{6}{7} \text{ кг}$.

На нагревание и испарение массы воды m уходит количество теплоты:

$$Q_1 = m(C\Delta T + L) = m_0 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} (C\Delta T + L) \approx 0,39 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

При сгорании массы M древесины выделяется количество теплоты:

$$Q_2 = Mq = m_0 \frac{\rho_1}{\rho_2} q \approx 8,57 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Следовательно, на отопление дома при сгорании массы 1 кг мокрых дров уходит количество теплоты:

$$Q_3 = Q_2 - Q_1 = m_0 \frac{\rho_1}{\rho_2} q - m_0 \frac{\rho_2 - \rho_1}{\rho_2} (C\Delta T + L) \approx 8,81 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

То есть удельная теплота сгорания мокрых дров равна: $q_3 = Q_3/m_0 = 8,81 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$.

Поэтому для того, чтобы протопить дом, потребуется либо масса $M_1 = 20 \text{ кг}$ сухих дров, либо масса

$$M_2 = \frac{M_1 q}{q_3} = 24,5 \text{ кг}.$$

Критерии оценивания:

- 1) Сделана оценка массы сухих дров и воды в мокрых дровах – 2 балла.
- 2) Найдено количество теплоты, необходимое для нагревания и испарения воды – 2 балла.
- 3) Найдено теплота сгорания сухих дров – 1 балла.
- 4) Найдено удельная теплота сгорания мокрых дров – 2 балл.
- 5) Получено итоговое выражение для искомой величины – 3 балла.

Итого – 10 баллов.

Задание №5. «Диодная семёрка»

Экспериментатор Бак собрал электрическую цепь из семи одинаковых диодов и неодинаковых резисторов с сопротивлениями: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = 1,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 2,5 \text{ Ом}$, $R_5 = 3 \text{ Ом}$, $R_6 = 3,5 \text{ Ом}$, $R_7 = 4 \text{ Ом}$ (рисунок 1). Вольт-амперная характеристика любого из диодов электрической цепи представлена на рисунке 2, где $U_0 = 2 \text{ В}$. Определите мощность, выделяемую в электрической цепи, если напряжение $U = 13 \text{ В}$.

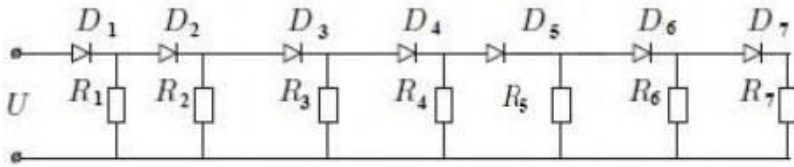


Рисунок 1

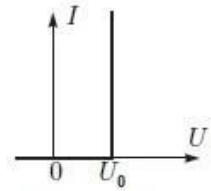


Рисунок 2

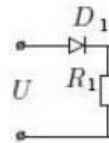
Возможное решение:

Мощность, которая выделяется в электрической цепи:

$$P = \sum_{i=1}^7 I_i^2 R_i + \sum_{j=1}^7 I_{dj} U_0, \quad (1)$$

где I_{dj} – ток на j -ом диоде, I_i – ток на i -ом резисторе.

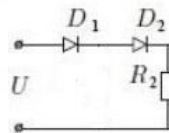
Рассмотрим контур, содержащий D_1



Для данного контура соотношение напряжений (второе правило Кирхгофа):

$$U = U_0 + I_1 R_1 \quad (2)$$

Рассмотрим контур, содержащий D_2



Для данного контура соотношение напряжений (второе правило Кирхгофа):

$$U = 2U_0 + I_2 R_2 \quad (3)$$

Рассматривая последовательно контуры с D_3 - D_7 , получим остальные соотношения напряжений:

$$U = 3U_0 + I_3 R_3 \quad (4)$$

$$U = 4U_0 + I_4 R_4 \quad (5)$$

$$U = 5U_0 + I_5 R_5 \quad (6)$$

$$U = 6U_0 + I_6 R_6 \quad (7)$$

$$U = 7U_0 + I_7 R_7 \quad (8)$$

Из (2)-(8) получим токи, текущие через резисторы:

$$I_1 = 11 \text{ A}, I_2 = 6 \text{ A}, I_3 = 3,5 \text{ A}, I_4 = 2 \text{ A}, I_5 = 1 \text{ A}, I_6 = 0,28 \text{ A}, \quad (9)$$

Значение тока $I_7 = -0,25 \text{ A}$, значит на напряжении 13 В хватает для открытия D_1 - D_6 , следовательно $I_7 = 0 \text{ A}$.

Запишем соотношения для токов (первое правило Кирхгофа для узлов):

$$I_{d1} = I_1 + I_{d2} \quad (10)$$

$$I_{d2} = I_2 + I_{d3} \quad (11)$$

$$I_{d3} = I_3 + I_{d4} \quad (12)$$

$$I_{d4} = I_4 + I_{d5} \quad (13)$$

$$I_{d5} = I_5 + I_{d6} \quad (14)$$

$$I_{d6} = I_6 \quad (15)$$

Решая (10) - (15), получим: $I_{d1} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$, $I_{d2} = I_{d1} - I_1$,

$$I_{d3} = I_{d2} - I_2, \quad I_{d4} = I_{d3} - I_3, \quad I_{d5} = I_{d4} - I_4, \quad I_{d6} = I_6.$$

$$I_{d1} = 23,78 \text{ A}, \quad I_{d2} = 12,78 \text{ A}, \quad I_{d3} = 6,78 \text{ A}, \quad I_{d4} = 3,28 \text{ A}, \quad I_{d5} = 1,28 \text{ A}, \quad I_{d6} = 0,28 \text{ A} \quad (16)$$

Подставляя (9) и (16) в (1), получим $P \approx 310 \text{ Вт}$

Ответ: $P \approx 310 \text{ Вт}$

Критерии оценивания:

- 1) Записано выражение для мощности – **1 балл**.
- 2) Записаны соотношения для напряжений и найдены токи, текущие через резисторы I_1 - I_6 – **3 балла**.
- 3) Учтено в решении, что D_7 закрыт, $I_7 = 0 \text{ A}$, $I_{d7} = 0 \text{ A}$ – **2 балла**.
- 4) Записаны соотношения для токов и найдены токи, текущие через диоды I_{d1} - I_{d6} – **3 балла**.
- 5) Найдена мощность (получен верный ответ) – **1 балл**.

Всего 10 баллов