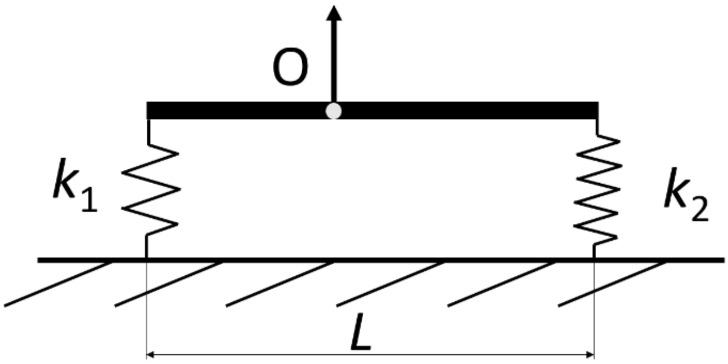
Задания отборочного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по физике 2022-2023 гг.

8 класс, задача 1, вариант 1

Невесомый жесткий стержень длиной L прикреплен к столу пружинками так, как показано на рисунке. Жесткость левой пружинки равна k_1, правой – k_2. Стержень тянут за точку *O* вертикально вверх так, что он остается ориентирован параллельно поверхности стола. Определите расстояние от левого края стержня до точки *O*. Ответ приведите в сантиметрах.



Решение

То, что стержень остается ориентирован параллельно поверхности стола значит, что он не поворачивается. Следовательно, суммы моментов приложенных сил относительно любой из точек на стрежне равны 0. Для удобства запишем моменты сил относительно точки *O*. Это позволяет не записывать момент неизвестной по условию прикладываемой силы.

Обозначим расстояние от левого края стержня до точки *O* как $\boldsymbol{l}$. Предположим, что стержень сместили на расстояние $\Delta\boldsymbol{x}$ вверх. Тогда моменты сил относительно точки O:

$$k_1 l\Delta x = k_2(L - l)\Delta x$$

Откуда выражаем искомое $\boldsymbol{l}$:

$$k_1 l + k_2 l = k_2 L => l = L\frac{k_2}{k_1 + k_2}$$

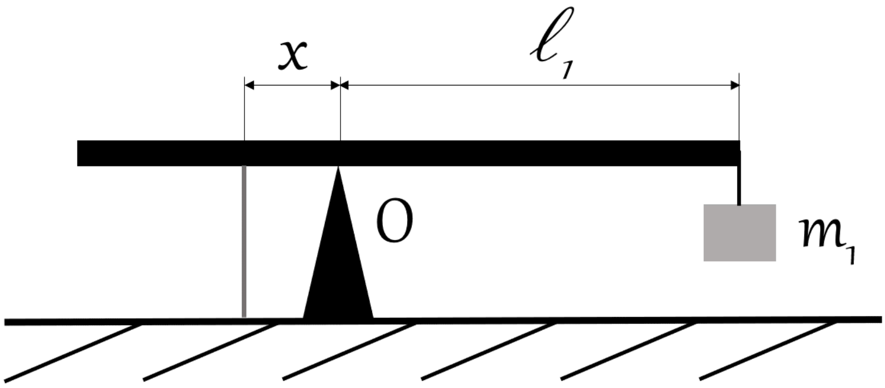
Числовые значения и ответы:

L = 40 см, k_1 = 10 Н/м, k_2 = 6 Н/м. Ответ: 15 см

L = 30 см, k_1 = 15 Н/м, k_2 = 10 Н/м. Ответ: 12 см

8 класс, задача 1, вариант 2

Невесомый рычаг длиной ***L*** насажен на горизонтальную ось в точке *O* так, как показано на рисунке, и может свободно вращаться вокруг нее в плоскости рисунка. К правому концу, расположенному на расстоянии l_1 от оси, подвешен груз массой m_1. Слева от оси на расстоянии ***x*** от точки *O* к рычагу привязана ниточка, прикрепленная к полу. Система находится в равновесии. Определите, какую максимальную массу m_2 можно подвесить к левому концу стержня, чтобы система оставалась в равновесии. Ответ приведите в килограммах.



Решение:

Изначально момент силы тяжести правого груза скомпенсирован силой натяжения ниточки. Когда к левому краю подвешивается груз m_2, натяжение ниточки уменьшается. Если момент силы тяжести левого груза будет больше правого, то натяжение ниточки исчезнет, и рычаг будет поворачиваться. Следовательно, максимальная масса груза определяется равенством моментов сил тяжести левого и правого грузов:

$$m_2(L - l_1) = m_1 l_1 \Rightarrow m_2 = \frac{m_1 l_1}{L - l_1}$$

Числовые значения и ответы:

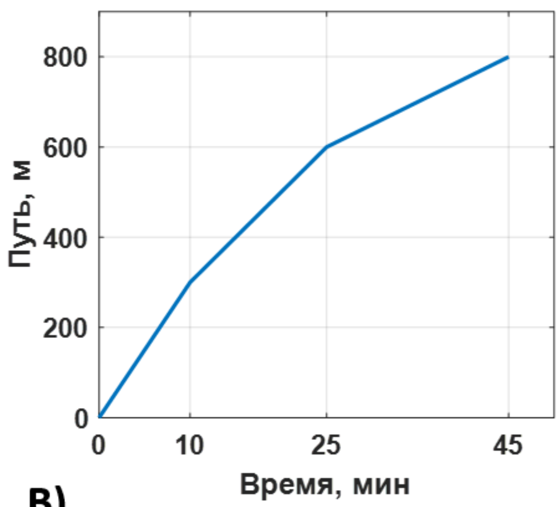
m_1 = 5 кг, l_1 = 15 см, L = 40 см. Ответ: 3 кг

m_1 = 4 кг, l_1 = 20 см, L = 60 см. Ответ: 2 кг

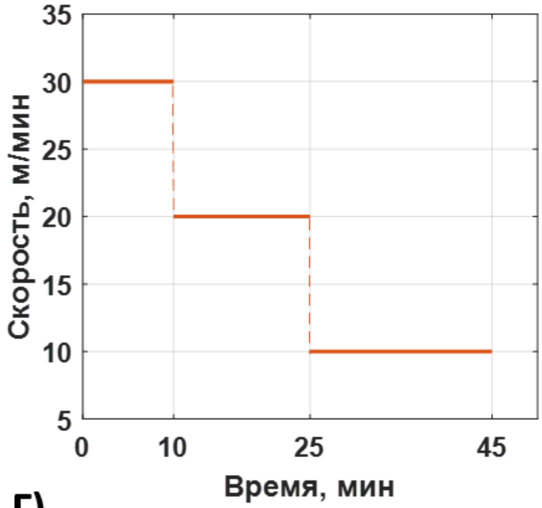
8 класс задача 2 вариант 1

Подхваченный ветром осенний лист упал в систему каналов. Увлекаемый течением, он дважды переплывал из одного канала в другой, и наконец попал в канализационный слив. Определите, какие из приведенных ниже графиков правильно описывают движение листа в каналах, и рассчитайте по ним среднюю скорость движения листа. Ответ приведите в м/мин, округлив до ближайшего целого. Течение воды в каналах равномерное, скорости течения в разных каналах отличаются. Время, за которое лист переходил из одного канала в другой, много меньше времени его движения по самим каналам.

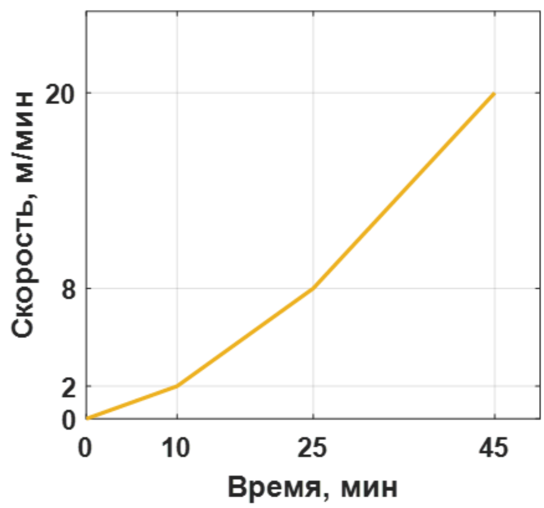
А)



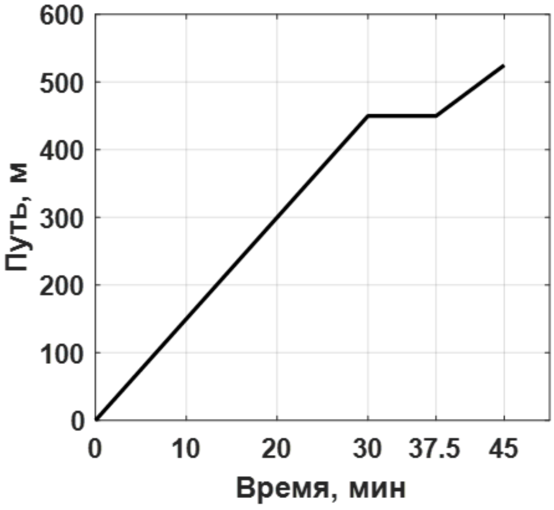
Б)



В)



Г)



Решение:

Лист движется со скоростью течения. По условию сказано, что лист дважы переплывал из одного канала в другой. Среди представленных графиков этим условиям удовлетворяют графики А и Б. График В неправильный, поскольку на нем изображена скорость, линейно меняющаяся со временем. График Г неправильный, поскольку согласно ему лист не двигался в течение 7.5 минут.

Среднюю скорость из графика А можно определить, поделив весь путь (800 м) на все время (45 мин):

$$v_{\text{ср}} = \frac{S}{t} = \frac{800}{45} \approx 18 \text{ м/мин}$$

Среднюю скорость из графика Б можно определить как:

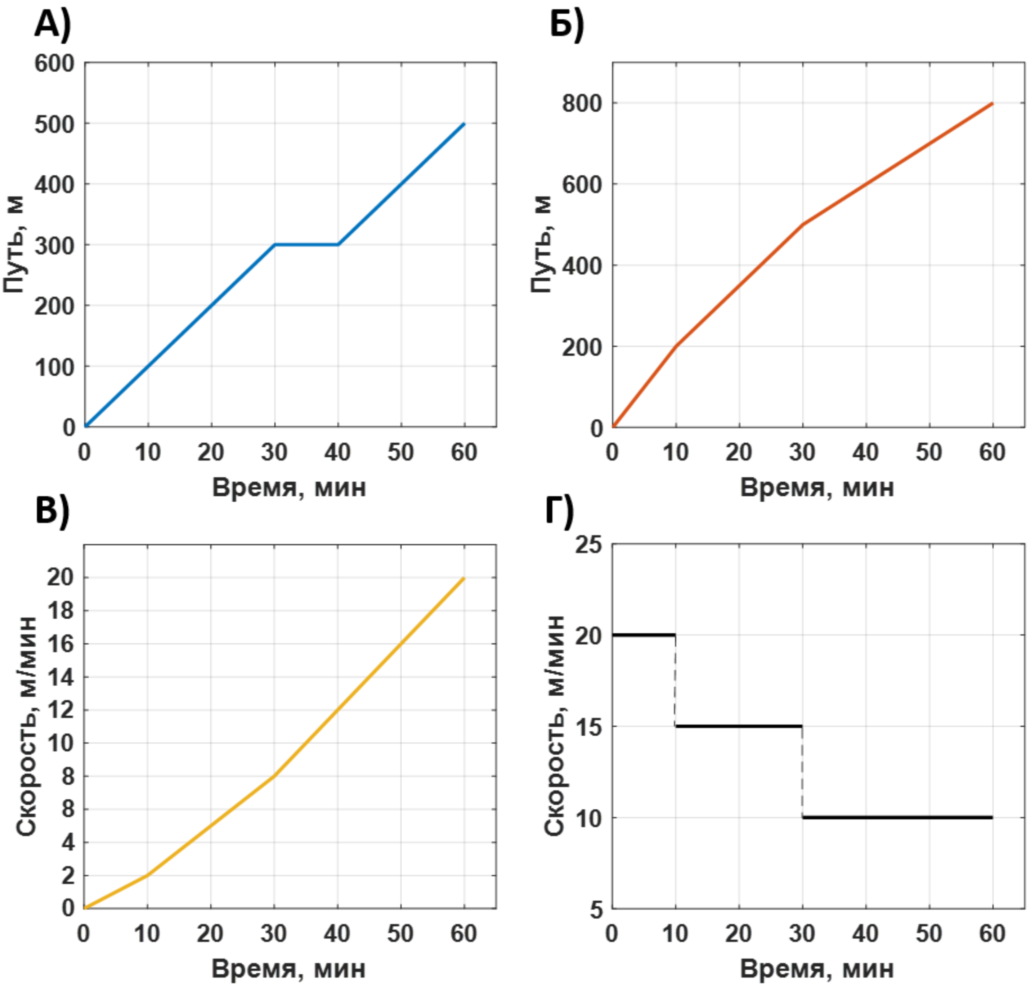
$$v_{\text{ср}} = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2 + v_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{30 * 10 + 20 * 15 + 10 * 20}{10 + 15 + 20} = \frac{800}{45} \approx 18 \text{ м/мин}$$

Разночтений между графиками нет.

Ответ: 18 м/мин

8 класс задача 2 вариант 2

Подхваченный ветром осенний лист упал в систему каналов. Увлекаемый течением, он дважды переплывал из одного канала в другой, и наконец попал в канализационный слив. Определите, какие из приведенных ниже графиков правильно описывают движение листа в каналах, и рассчитайте по ним среднюю скорость движения листа. Ответ приведите в м/мин, округлив до ближайшего целого. Течение воды в каналах равномерное, скорости течения в разных каналах отличаются. Время, за которое лист переходил из одного канала в другой, много меньше времени его движения по самим каналам.



Ответ: 13 м/мин

8 класс задача 3 вариант 1

Часть пути Володи из дома до школы пролегает по подземному тоннелю. В тоннеле для пешеходов в обе стороны установлены одинаковые траволаторы, представляющие собой горизонтальные бесступенчатые дорожки, движущиеся с постоянной скоростью. Обычно Володя идет по траволатору в спокойном темпе и тратит на проход 1 минуту. Как-то раз, преодолев таким образом **треть длины** траволатора, Володя вспомнил, что забыл дома спортивную форму для физкультуры, развернулся и побежал обратно. Сойдя с траволатора и отдышавшись, Володя прикинул, что если бы он дошел в том же темпе до конца траволатора, а затем перешел на соседний, движущийся в обратную сторону, и шел по нему в спокойном темпе, то оказался бы у выхода всего на 21 секунду позже. Определите длину траволатора, если известно, что ходит Володя со скоростью 85 м/мин, а бегает – с 166 м/мин. Ответ приведите в метрах, округлив до целого числа.

Решение:

Обозначим скорость траволатора как v_0. Скорость движения Володи в обычный день (относительно тоннеля):

$$v_0 + v_{\text{В}} = L/t_1$$

Пусть t_x – время, которое Володя бежал по траволатору. Скорость Володи, когда он бежал против движения (относительно тоннеля):

$$v'_{\text{В}} - v_0 = L/3t_x$$

Воспользуемся условием, что если бы Володя дошел до конца траволатора пешком и перешел на соседний, то он затратил бы на t_2 минуты больше:

$$\frac{5}{3}L = (v_0 + v_{\text{В}})(t_x + t_2)$$

Выразим из этого уравнения $v_0 + v_{\text{В}} = \frac{5}{3}\frac{L}{(t_x+t_2)}$ и подставим в первое:

$$\frac{5}{3}\frac{L}{(t_x + t_2)} = \frac{L}{t_1} => \ t_x = \frac{5t_1 - 3t_2}{3}$$

Теперь сложим первое уравнение со вторым:

$$v_{\text{В}} + v'_{\text{В}} = \frac{L}{t_1} + \frac{L}{3t_x} => L = \frac{3t_1 t_x}{3t_x + t_1}(v_{\text{В}} + v'_{\text{В}})$$

Подставив выражение для t_x, полученое выше, найдем L:

$$L = \frac{(v_{\text{В}} + v'_{\text{В}})(5t_1 - 3t_2)t_1}{6t_1 - 3t_2}$$

Ответ: $L = 200$ м

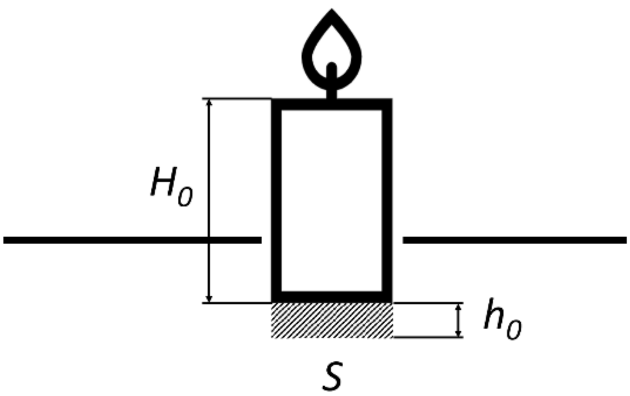
8 класс задача 3 вариант 2

Часть пути Володи из дома до школы пролегает по подземному тоннелю. В тоннеле для пешеходов в обе стороны установлены одинаковые траволаторы, представляющие собой горизонтальные бесступенчатые дорожки, движущиеся с постоянной скоростью. Обычно Володя идет по траволатору в спокойном темпе и тратит на проход ***1.2 минуты***. Как-то раз, преодолев таким образом **треть длины** траволатора, Володя вспомнил, что забыл дома спортивную форму для физкультуры, развернулся и побежал обратно. Сойдя с траволатора и отдышавшись, Володя прикинул, что если бы он дошел в том же темпе до конца траволатора, а затем перешел на соседний, движущийся в обратную сторону, и шел по нему в спокойном темпе, то оказался бы у выхода всего на ***30 секунд*** позже. Определите длину траволатора, если известно, что ходит Володя со скоростью **70 м/мин**, а бегает – ***120 м/мин***. Ответ приведите в метрах, округлив до целого числа.

Ответ: $L = 180$ м

8 класс, задача 4 вариант1

Парафиновая цилиндрическая свечка с прикрепленной к ней снизу алюминиевой шайбой плавает в бассейне (см. рисунок). Диаметры свечки и шайбы одинаковы, высота свечки – H_0, высота шайбы – h_0 Свечку поджигают и наблюдают за ее движением. Форма свечки при этом остается цилиндрической, ее высота уменьшается со скоростью ***c* мм/с**. Через некоторое время t_0 верхняя грань свечки оказывается вровень с водой, и фитиль потухает. Определите время t_0. Плотность парафина $\rho_п$, плотность воды $\rho_в$, плотность алюминия $\rho_{ал}$. Считайте, что свечка перемещается в воде медленно и с постоянной скоростью.



Решение

Обозначим за ***H(t)*** зависимость высоты свечки от времени. Согласно условию, она изменяется как:

$$H(t) = H_0 - ct$$

Обозначим за ***h(t)*** ту часть всей конструкции (свечка+шайба), которая в данный момент погружена в воду. Тогда, считая, что свечка горит медленно, в каждый момент времени можно записать следующее выражение:

$$m_{\text{ал}}g + m_{\text{п}}(t)g = \rho_{\text{в}}gSh(t)$$

$$\rho_{\text{ал}}h_0 + \rho_{\text{п}}H(t) = \rho_{\text{в}}h(t)$$

В момент времени t_0 свечка уходит под воду. Это означает, что в этот момент высота погруженной части равна сумме высот оставшейся части свечки и шайбы:

$$h(t_0) = h_0 + H_0 - ct_0$$

Откуда получаем:

$$\rho_{\text{ал}}h_0 + \rho_{\text{п}}(H_0 - ct_0) = \rho_{\text{в}}(h_0 + H_0 - ct_0)$$

$$(\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{в}})h_0 + (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{в}})(H_0 - ct_0) = 0$$

$$(H_0 - ct_0) = \frac{\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{п}}}h_0$$

$$t_0 = \frac{1}{c}\left(H_0 - \frac{\rho_{\text{ал}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{п}}}h_0\right)$$

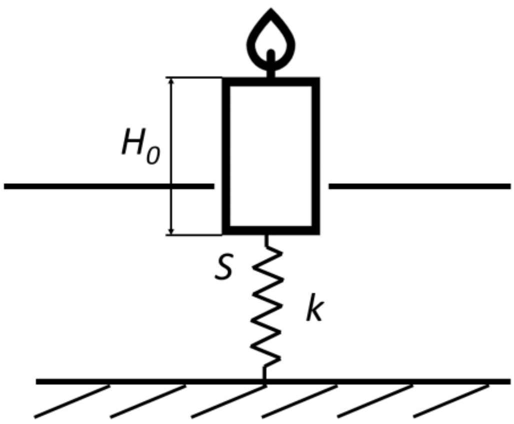
Числовые данные и ответы:

1. H_0 = 20 см, h_0 = 1 см, c = 0.3 мм/с, $\rho_п$ = 900 кг/м^3, $\rho_в$ = 1000 кг/м^3,, $\rho_{ал}$.= 2700 кг/м^3. Ответ: 100 с.

2. H_0 = 40 см, h_0 = 2 см, c = 0.2 мм/с, $\rho_п$ = 900 кг/м^3, $\rho_в$ = 1000 кг/м^3,, $\rho_{ал}$.= 2700 кг/м^3. Ответ: 300 с.

8 класс, задача 4, вариант 2

Парафиновая цилиндрическая свечка высотой $\boldsymbol{H_0}$ и площадью основания $\boldsymbol{S}$ плавает в бассейне. Свечка прикреплена к полу бассейна пружинкой с жесткостью $\boldsymbol{k}$ (см. рисунок). Свечку поджигают и наблюдают, как испаряется парафин. Форма свечки при этом остается цилиндрической, ее высота уменьшается со скоростью ***с* мм/с**. Через некоторое время $\boldsymbol{t_0}$ верхняя грань свечки оказывается вровень с водой, и фитиль потухает. Определите время $\boldsymbol{t_0}$, если известно, что растяжение пружины в этот момент составляло $\Delta\boldsymbol{x}$. Плотность парафина $\boldsymbol{\rho_п}$, плотность воды $\boldsymbol{\rho_в}$. Считайте, что свечка опускается в воду медленно и с постоянной скоростью.



Решение

Обозначим зависимость высоты свечки от времени как *H(t)*. По условию оно дается выражением:

$$H(t) = H_0 - ct$$

Обозначим за *h(t)* зависимость от времени высоты погруженной части свечки. По условию сказано, что свечка опускается медленно и с постоянной скоростью, поэтому второй закон Ньютона может быть записан как:

$$mg + k\Delta x = \rho_{\text{в}} g h(t) S => \rho_{\text{п}} H(t) + \frac{k\Delta x}{Sg} = \rho_{\text{в}} h(t)$$

В момент времени $\boldsymbol{t_0}$ свечка уходит под воду. Это означает, что в этот момент высота погруженной части равна высоте оставшейся части свечки:

$$h(t_0) = H(t_0) = H_0 - ct_0$$

Подставляем во второй закон Ньютона и находим:

$$\rho_п(H_0 - ct_0) + \frac{k\Delta x}{Sg} = \rho_в(H_0 - ct_0) => (\rho_п - \rho_в)(H_0 - ct_0) = -\frac{k\Delta x}{Sg}$$

$$(H_0 - ct_0) = \frac{1}{(\rho_в - \rho_п)}\frac{k\Delta x}{Sg}$$

$$t_0 = \frac{1}{c}\left(H_0 - \frac{1}{(\rho_в - \rho_п)}\frac{k\Delta x}{Sg}\right)$$

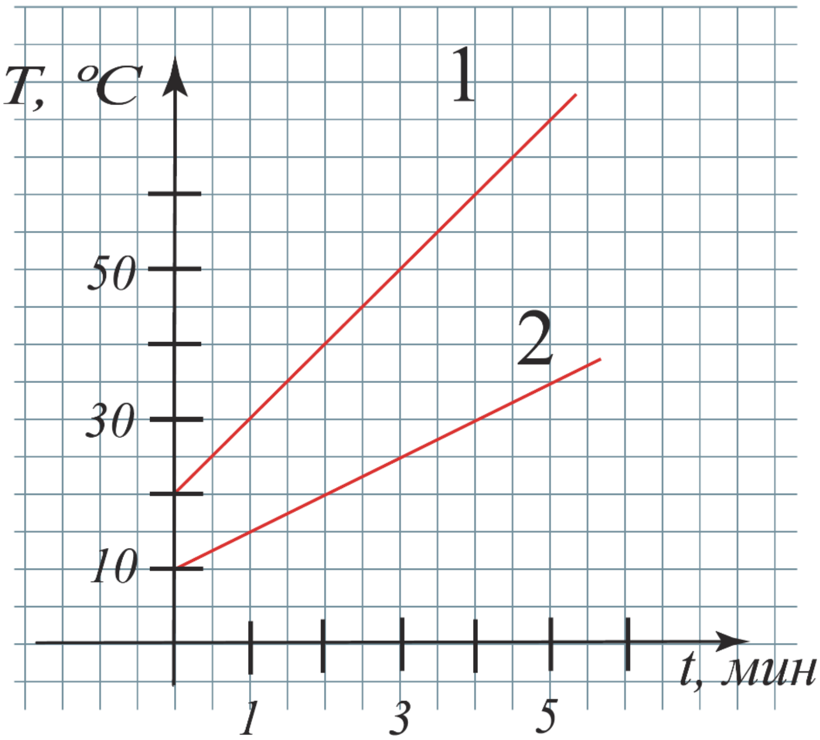
Числовые данные и ответы:

1. H_0 = 40 см, S = 0.05 м^2, k = 50 Н/м, c = 0.4 мм/с, Δx = 10 см, $\rho_п$ = 900 кг/м^3, $\rho_в$ = 1000 кг/м^3, g = 10 м/с^2. Ответ: 750 с.

2. H_0 = 50 см, S = 0.05 м^2, k = 100 Н/м, c = 0.4 мм/с, Δx = 20 см, $\rho_п$ = 900 кг/м^3, $\rho_в$ = 1000 кг/м^3, g = 10 м/с^2. Ответ: 250 с.

8 класс, задача 5, вариант 1

Экспериментатор нагревает воду в двух одинаковых стаканах с помощью двух одинаковых нагревателей. На рисунке изображены построенные им графики зависимости температуры воды в стаканах № 1 и № 2 от времени. Найдите отношение объемов воды V_2 к V_1. Мощности нагревателей считайте постоянными, теплопотерями и теплоемкостью стаканов пренебречь. Приведите ответ, округлив до целого числа.



Решение:

Запишем уравнение теплового баланса для жидкости в стаканах №1 и №2, обозначив мощность нагрева как P и выразив массу жидкости как произведение плотности ρ на объем V:

$$P\Delta t_1 = c\rho V_1 \Delta T_1$$
$$P\Delta t_2 = c\rho V_2 \Delta T_2$$

Разделим второе уравнение на первое:

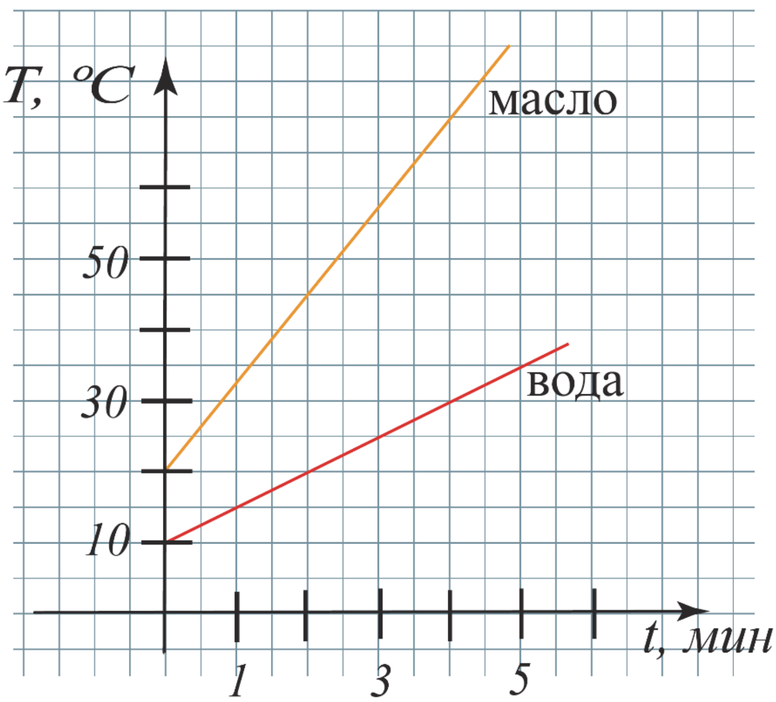
$$\frac{\Delta t_2}{\Delta t_1} = \frac{V_2 \Delta T_2}{V_1 \Delta T_1} => \frac{V_2}{V_1} = \frac{\Delta T_1 \Delta t_2}{\Delta T_2 \Delta t_1}$$

Из графиков определим (например), что ΔT_1 равно 2 клетки (10 ^{O}C) при $\Delta t_1 = 2$ клетки (1 минута), а ΔT_2 равно 1 клетка (5 ^{O}C) при $\Delta t_2 = 2$ клетки (1 минута). Заметим, что единицы измерения и цена деления осей графика не важны, т.к. они сокращаются при подстановке в отношение объемов.

Ответ: $V_2/V_1 = 2$

8 класс, задача 5, вариант 2

Экспериментатор нагревает два одинаковых стакана с помощью двух одинаковых нагревателей. В одном из стаканов находится растительное масло, в другом – вода. На рисунке изображены построенные им графики зависимости температуры жидкостей от времени. Найдите отношение массы масла к массе воды. Мощности нагревателей считайте постоянными, теплопотерями в окружающую среду и теплоемкостями стаканов пренебрегите. Удельные теплоемкости воды и масла равны 4200 Дж/кг·^{o}C и 1680 Дж/кг·^{o}C, соответственно. Ответ приведите, округлив до целого числа.



Решение:

Запишем уравнение теплового баланса для масла и воды обозначив мощность нагрева как P:

$$P\Delta t_M = c_M m_M \Delta T_M$$
$$P\Delta t_B = c_B m_B \Delta T_B$$

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{\Delta t_M}{\Delta t_B} = \frac{c_M m_M \Delta T_M}{c_B m_B \Delta T_B} => \frac{m_M}{m_B} = \frac{c_B \Delta T_B \Delta t_M}{c_M \Delta T_M \Delta t_B}$$

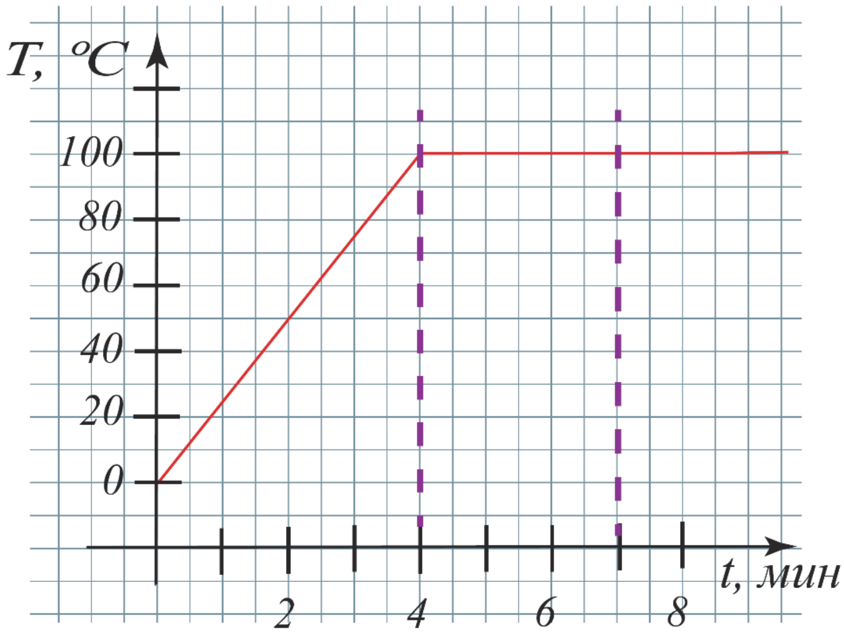
Из графиков определим (например), что ΔT_M равно 5 клеток (25 ^{O}C) при $\Delta t_M = 4$ клетки (2 минуты), а ΔT_B равно 1 клетка (5 ^{O}C) при $\Delta t_B = 2$ клетки (1 минута). Заметим, что единицы измерения и цена деления осей графика не важны, т.к. они сокращаются при подстановке в отношение объемов. Подставим эти значения и величины теплоемкостей:

$$\frac{m_M}{m_B} = \frac{4200 \cdot 1 \cdot 4}{1680 \cdot 5 \cdot 2} = 1$$

Ответ: $m_M / m_B = 1$

8 класс, задача 6, вариант 1

Экспериментатор разбирал свои старые заметки и нашел график зависимости температуры воды от времени. Помогите ему определить, какой процент жидкости выкипел за интервал времени, отмеченный вертикальными линиями. Известно, что мощность нагревателя была постоянной, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/кг·^{o}C , удельная теплота парообразования $L = 2{,}3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Ответ приведите в процентах, округлив до целого числа.



Решение:

Запишем уравнение теплового баланса для процесса испарения и процесса нагрева воды, обозначив мощность нагрева как P:

$$P\Delta t_1 = L\Delta m$$
$$P\Delta t_2 = cm\Delta T$$

Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{L}{c\Delta T}\frac{\Delta m}{m}$$

Выразим $\Delta m/m$:

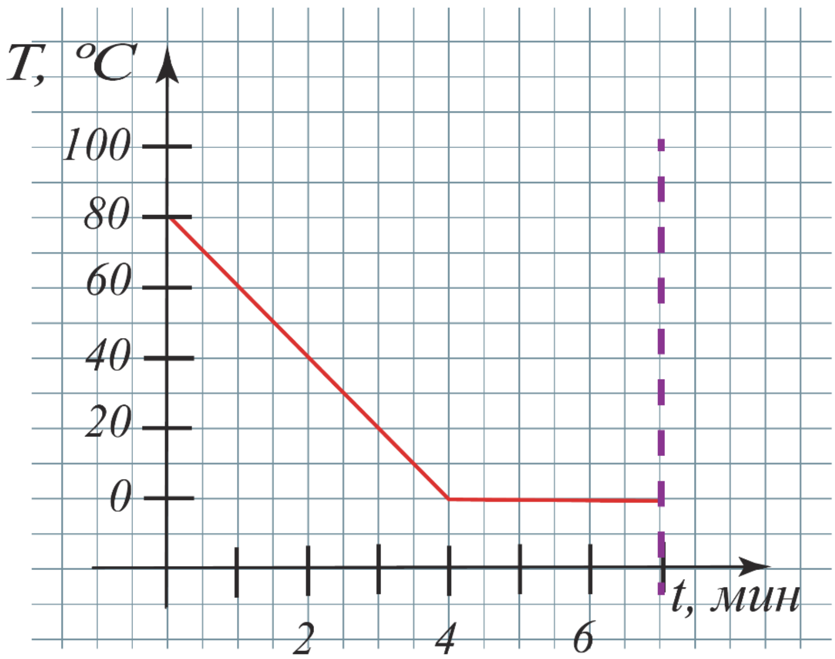
$$\frac{\Delta m}{m} = \frac{c\Delta T}{L}\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$$

Подставим $\Delta t_1 = 3$ минуты, и Δt_2 и ΔT, найденные по графику. Пусть $\Delta t_2 = 2$ минуты и $\Delta T = 50^o$. Тогда $\frac{\Delta m}{m} = 0{,}1369$. Переведем в проценты и округлим до целого числа – 14%.

Ответ: 14%

8 класс, задача 6, вариант 2

Аня выполняет лабораторную работу по охлаждению воды и строит график зависимости температуры от времени. Помогите ей рассчитать на основе полученных данных, какая часть воды превратилась в лед к концу измерений. Известно, что мощность теплоотвода была постоянна, удельная теплоемкость воды $c = 4200$ Дж/кг·°С, удельная теплота плавления льда $\lambda = 3{,}4 \cdot 10^5$ Дж/кг. Ответ приведите в процентах, округлив до ближайшего целого.



Решение:

Запишем уравнение теплового баланса для замерзания и охлаждения воды, обозначив мощность нагрева как P:

$P\Delta t_1 = -\lambda\Delta m$ – количество теплоты, выделяющееся при замерзании массы льда Δm , $P\Delta t_2 = cm\Delta T$ – количество теплоты, выделяющееся при охлаждении воды. Поскольку конечная температура меньше начальной, то эта величина отрицательная. Разделим первое уравнение на второе:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2} = \frac{-\lambda}{c\Delta T}\frac{\Delta m}{m}$$

Выразим искомое время $\frac{\Delta m}{m}$:

$$\frac{\Delta m}{m} = -\frac{c\Delta T}{\lambda}\frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}$$

Подставим $\Delta t_1 = 3$ минуты и Δt_2 и ΔT, найденные по графику. Пусть $\Delta t_2 = 2$ минуты и $\Delta T = -40^o$. Тогда $\frac{\Delta m}{m}$ ≈74 %

Ответ: 74 %