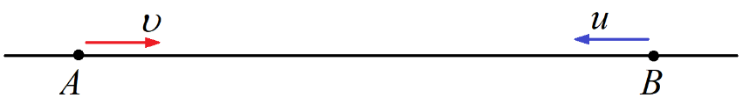
Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина
Специализированный учебно-научный центр

ВСТУПИТЕЛЬНЫЙ ЭКЗАМЕН ПО ФИЗИКЕ

9 класс
Физико-математический профиль
22 марта 2025 года
Возможные решения и критерии проверки

9.1.Встречи в пути



а) Первое тело движется из точки A со скоростью υ = 20 м/с, второе тело движется ему навстречу из точки B, расположенной на расстоянии L = 350 м, со скоростью u = 15 м/с.

9.1.1.Определите, где и когда встретятся тела. (1 балл)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Запишем условие встречи тел

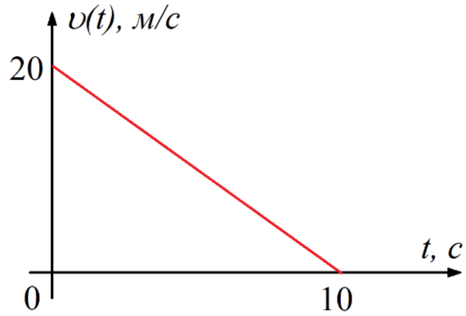
$$\upsilon t = L - ut.$$

Выразим время встречи и расстояние S от точки А до места встречи тел

$$t_{\text{в}} = \frac{L}{\upsilon + u};\ \ t_{\text{в}} = \frac{350}{20 + 15} = 10\ (\text{с});$$

$$S = \upsilon t_{\text{в}};\ \ S = 20 \cdot 10 = 200\ (\text{м}).$$

б) Два тела движутся навстречу друг другу вдоль прямой линии. Первое движется из A в B, второе - из B в A. График зависимости первого тела от времени $\upsilon(t)$ представлен на рисунке. Второе тело движется с постоянной скоростью u = 15 м/с. Известно, что тела встретились в момент остановки первого тела.



9.1.2.Найдите расстояние AB. (2 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

По графику определяем время движения первого тела до остановки

$$t_1 = 10\ c.$$

Определим путь S_1, пройденный первым телом до остановки (площадь под графиком $\upsilon(t)$

$$S_1 = S_{\Delta} = \frac{20 \cdot 10}{2} = 100\ (\text{м}).$$

Путь второго тела за 10 с равен

$$S_2 = ut_1;\ S_2 = 15 \cdot 10 = 150\ (\text{м}).$$

Тогда расстояние AB равно

$$AB = S_1 + S_2;\ \ AB = 100 + 150 = 250\ (\text{м}).$$

в) Два тела движутся вдоль (по или против) оси ОХ.

Зависимость координаты первого тела от времени дается уравнением

$$x_1(t) = 20t - t^2.$$

Зависимость координаты второго тела от времени задана уравнением

$$x_2(t) = 125 - 10t.$$

Координата x измеряется в метрах, время t в секундах.
Определите:
9.1.3. координаты тел в начальный момент времени $x_1(t)$ и $x_2(t)$; (0,5 баллов)
9.1.4. в каком направлении (по или против оси) движется первое тело; (1 балл)
9.1.5. в каком направлении (по или против оси) движется второе тело; (0,5 баллов)
9.1.6. постройте график зависимости от времени координаты первого тела $x_1(t)$. Используя этот график ответьте на вопрос – в какой момент времени меняется направление движения первого тела; (2 балла)
9.1.7. определите, в какие моменты времени и где (координата x) встретятся тела. (3 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Определим начальные координаты тел (координаты тел в момент времени $t = 0$)

$$x_1(0) = 0;$$

$$x_2(0) = 125 \text{ м}.$$

Координата второго тела с течением времени уменьшается, это означает, что оно движется против оси OX. График зависимости координаты первого тела от времени – парабола ветвями вниз, до некоторого момента времени (назовём его $t_о$) тело движется по оси OX (координата возрастает), после $t_о$ координата тела уменьшается, оно движется против оси OX.

Построим график зависимости координаты первого тела от времени. Зависимость задана уравнением

$$x_1(t) = 20t - t^2.$$

Видим, что это – парабола ветвями вниз. Определим моменты времени, когда тело оказывается в начале координат, для этого нужно решить уравнение

$$0 = 20t - t^2 = t(20 - t).$$

Это уравнение имеет два корня $t_1 = 0$ и $t_2 = 20$ с. Вершина параболы находится в точке с координатами $t_о = 10$ с, $x(t_о) = 100$ м (см. рис – синяя линия).

Определим время и место встречи тел. Для этого нужно решить квадратное уравнение

$$20t - t^2 = 125 - 10t.$$

Преобразуем его к стандартному виду

$$t^2 - 30t + 125 = 0.$$

Корни квадратного уравнения $t_{в1}$ и $t_{в2}$ определяют моменты времени, когда происходит встреча тел

$$t_{в1} = \frac{-(-30) - \sqrt{(-30)^2 - 4 \cdot 125}}{2} = 5 \text{ (с)};$$

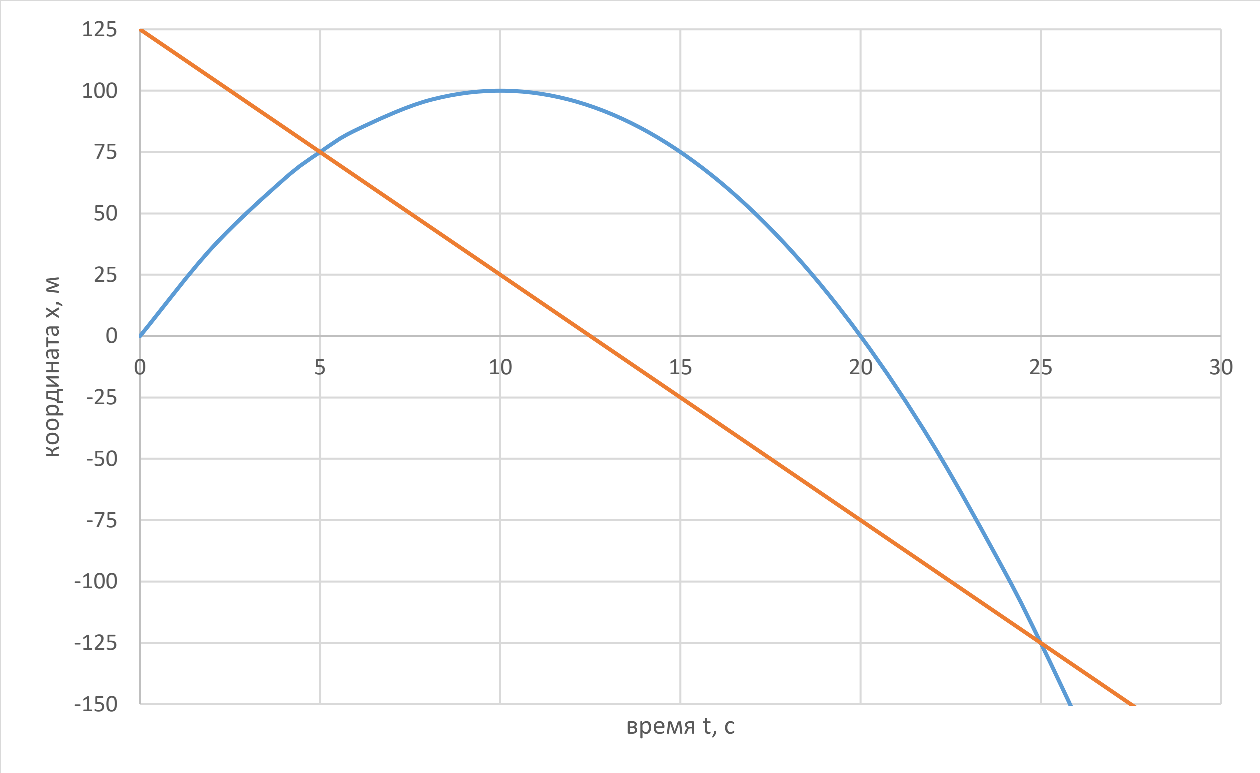
$$t_{в2} = \frac{-(-30) + \sqrt{(-30)^2 - 4 \cdot 125}}{2} = 25 \text{ (с)}.$$

Два полученных момента времени означают, что возможны две встречи тел. Определим координаты точек встречи

$$x_{в1} = 125 - 10 \cdot 5 = 75 \text{ (м)};$$

$$x_{в2} = 125 - 10 \cdot 25 = -125\ (м).$$

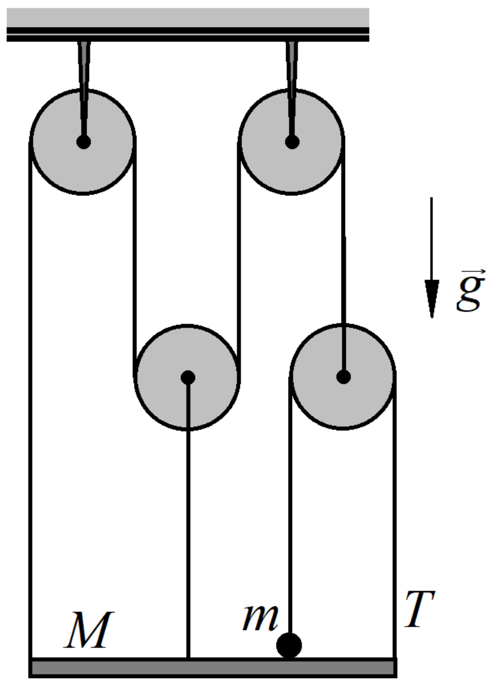
На графике построены зависимости координат обоих тел от времени (первое тело – синяя линия, второе тело – коричневая линия). Вершина параболы – это точка остановки первого тела, две точки пересечения графиков означают две точки встречи тел.



Задание	Ответ	Балл
9.1.1.Определите, где и когда встретятся тела	10 с; 200 м	1
9.1.2.Найдите расстояние *AB*	250 м	2
9.1.3. координаты тел в начальный момент времени $x_1(t)$ и $x_2(t)$	Первое 0, второе 125 м	0,5
9.1.4. в каком направлении (по или против оси) движется первое тело	Сначала по оси, потом против *Только по оси (в положительном направлении оси OX)*	1 *0,5*
9.1.5. в каком направлении (по или против оси) движется второе тело	против оси	0,5
9.1.6. постройте график зависимости от времени координаты первого тела $x_1(t)$. В какой момент времени меняется направление движения первого тела?	График – одна ветвь параболы с вершиной (10 с; 100 м) Парабола полностью Время 10 с	0,5 1 1 Итого за пункт 2
9.1.7. определите, в какие моменты времени и где (координата *x*) встретятся тела.	5 с; 75 м 25 с; - 125 м *Если указано только время или только координата, то ставится 0,75 балла*	1,5 1,5

9.2. В равновесии

Однородная балка массой M удерживается в покое с помощью системы невесомых веревок и невесомых блоков. На балке находится шарик массой m. Известно, что веревка, к которой прикреплен шарик, натянута. Балка горизонтальна. Свободные участки верёвок вертикальны. Трение в блоках отсутствует.



9.2.1.Определите силу F, с которой шарик давит на балку (2 балла)

9.2.2. Обозначим T – силу натяжения верёвки, к которой прикреплён шарик. Выразите натяжения всех веревок через T (1 балл)

9.2.3. Определите T и все остальные натяжения веревок. (2 балла)

9.2.4. При каком соотношении масс балки и шарика равновесие в данной системе невозможно? (2 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Сделаем рисунок, расставим силы, действующие на тела (рис. б, в) и подвижные блоки (рис.а).

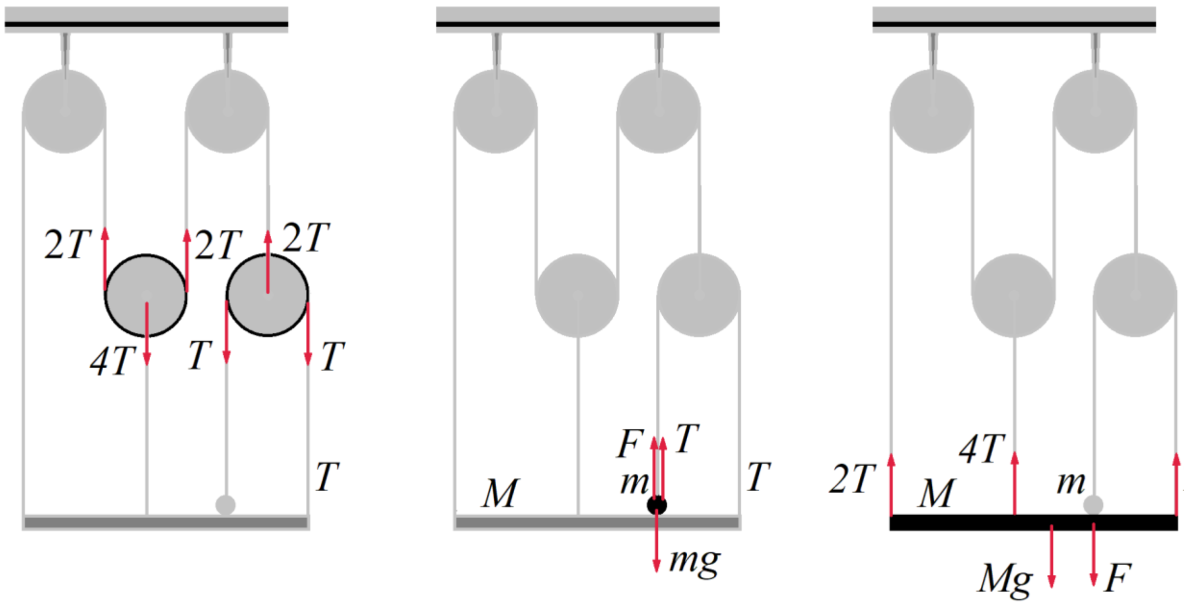


рис.а рис.б рис.в

Запишем условие равновесия тел:

$$mg = F + T; \qquad (1)$$

$$Mg + F = 7T. \qquad (2)$$

Из (1) выразим F и подставим в (2), получим

$$F = mg - T;$$

$$7T = Mg + mg - T;$$

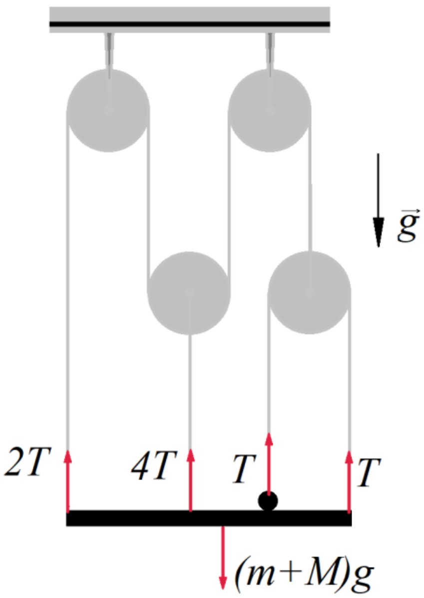


рис.г

$$T = \frac{M+m}{8}g;$$
$$F = \frac{7m-M}{8}g.$$

Силы натяжения других веревок равны $2T$ и $4T$.
Заметим, что возможно решение, при котором записывается условие покоя одного из тел (либо (1), либо (2)), и системы «шарик+ балка» в целом. Силы, действующие на систему указаны на рис. г, условие покоя системы выглядит следующим образом

$$(M+m)g = T + T + 2T + 4T.$$

Равновесия в этом системе будет возможно при условии, что шарик давит на балку. Это возможно при выполнении условия

$$F \geq 0; \quad 7m \geq M.$$

Следовательно, равновесие невозможно при

$$M > 7m$$

Задание	Ответ	Балл
9.2.1.Определите силу F, с которой шарик давит на балку	$F = \frac{7m-M}{8}g$	2
9.2.2. Обозначим T – силу натяжения верёвки, к которой прикреплён шарик. Выразите натяжения всех веревок через T	$2T; \ 4T$	1
9.2.3.Определите T и все остальные натяжения веревок	$T = \frac{M+m}{8}g; \ 2T; \ 4T$	2
9.2.4. При каком соотношении масс балки и шарика равновесие в данной системе невозможно?	$M > 7m$	2
В случае отсутствия ответов по п.9.2.1 – 9.2.4. может быть выставлен частичный балл: - сделан рисунок, расставлены все силы – 1 балл; - установлена связь одной сил натяжения – 0,5 балла; - записано условие покоя шарика – 0,5 балла; - записано условие покоя балки – 0,5 балла; - записано, для равновесия необходимо $F \geq 0$ – 1 балл.		

9.3.Шарик на рычаге

Однородный рычаг массой M расположен на двух опорах, которые обеспечивают его горизонтальность. Длина рычага L. На левую опору помещают шарик массой m (рис.а.). Рычаг цветными метками поделен на три равные части.

9.3.1. Определите силы реакции левой N_1 и правой опор N_2. (2 балла)

Пусть теперь шарик переместили на расстояние x от левой опоры (рис.б).

9.3.2. Определите новые силы реакции опор N'_1 и N'_2. (2 балла)

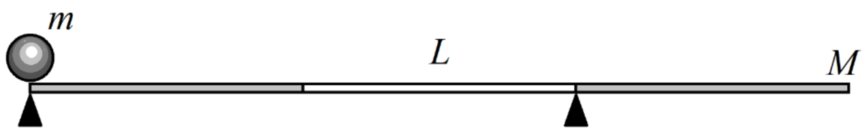


рис. а

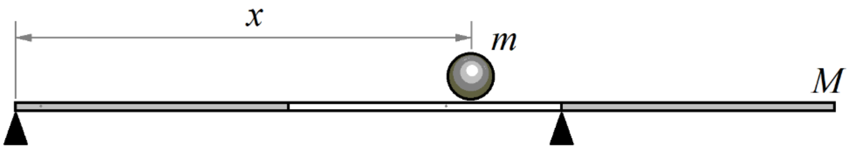


рис. б

9.3.3.Определите, на какое максимальное расстояние x_{max} можно сместить шарик от левого края рычага, чтобы рычаг оставался горизонтальным? (2 балла)

9.3.4. При каком соотношении масс M и m рычаг будет горизонтальным при любом расположении шарика? (1 балл)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Сделаем рисунок для случая а), расставим силы, действующие на шарик и рычаг, и запишем условие покоя и уравнение моментов для рычага относительно оси, проходящей перпендикулярно плоскости чертежа через крайнюю левую точку

$$N_1 + N_2 = (M+m)g;$$
$$N_1 \cdot \frac{2}{3}L = Mg \cdot \frac{L}{2}.$$

Из записанных уравнений находим

$$N_1 = \frac{3}{4}Mg;$$
$$N_2 = mg + \frac{1}{4}Mg.$$

Переместим шарик на расстояние x от левого края и заново запишем уравнения

$$N'_1 + N'_2 = (M+m)g;$$
$$N'_1 \cdot \frac{2}{3}L = Mg \cdot \frac{L}{2} + mgx.$$

Из записанных уравнений находим

$$N'_1 = \frac{3}{4}Mg + \frac{3mg}{2L}x;$$
$$N'_2 = mg\left(1 - \frac{3x}{2L}\right) + \frac{1}{4}Mg.$$

Определим максимальное расстояние x_{max}, на которое можно сместить шарик от левого края рычага, чтобы рычаг оставался горизонтальным. Мы видим, что с увеличением x сила реакции N'_2 уменьшается. При x_{max} сила реакции левой опоры станет равной 0. Для определения x_{max} имеем уравнение

$$mg\left(1-\frac{3x_{max}}{2L}\right)+\frac{1}{4}Mg=0.$$

Выразим $x_{\max}$

$$x_{max}=\frac{4m+M}{6m}L.$$

Рычаг всегда будет оставаться в горизонтальном положении, если $x_{\max}$будет больше длины рычага. То есть

$$x_{max}=\frac{4m+M}{6m}L\geq L.$$

Это выполняется, если

$$M\geq 2m.$$

Задание	Ответ	Балл
9.3.1. Определите силы реакции левой N_1 и правой опор N_2	$N_1=\frac{3}{4}Mg;$ $N_2=mg+\frac{1}{4}Mg.$	2
9.3.2. Определите новые силы реакции опор N'_1 и N'_2	$N'_1=\frac{3}{4}Mg+\frac{3mg}{2L}x;$ $N'_2=mg\left(1-\frac{3x}{2L}\right)+\frac{1}{4}Mg.$	2
9.3.3.Определите, на какое максимальное расстояние $x_{\max}$ можно сместить шарик от левого края рычага, чтобы рычаг оставался горизонтальным?	$x_{max}=\frac{4m+M}{6m}L.$	2
9.3.4.При каком соотношении масс M и m рычаг будет горизонтальным при любом расположении шарика?	$M\geq 2m.$	1
При отсутствии правильных ответов в п.9.3.1 – 9.3.4 возможно выставление частичных баллов: - в случае а) или б) сделан рисунок и правильно расставлены все силы – по 1 баллу за каждый; - либо в случае а), либо в б) правильно записаны условия покоя (уравнения моментов) – по 0,5 балла за каждое правильное уравнение		

9.4. Система без подтекания, но с пружинкой

В системе, показанной на рисунке, поршни лёгкие, гладкие, и жидкость между ними и стенками сосуда не подтекает. Давление газа между поршнями равно атмосферному. Площадь поперечного сечения левого сосуда равна S =100 см^2, а правого 3S = 300 см^2. Сосуды высокие. Плотность первой жидкости (большего объёма) ρ_1 = 800 кг/м^3. Жёсткость лёгкой пружины k = 500 Н/м.

9.4.1.Определите высоту столба второй жидкости h_2 (0,25 балла)

9.4.2. Определите длину пружины L (0,25 балла);

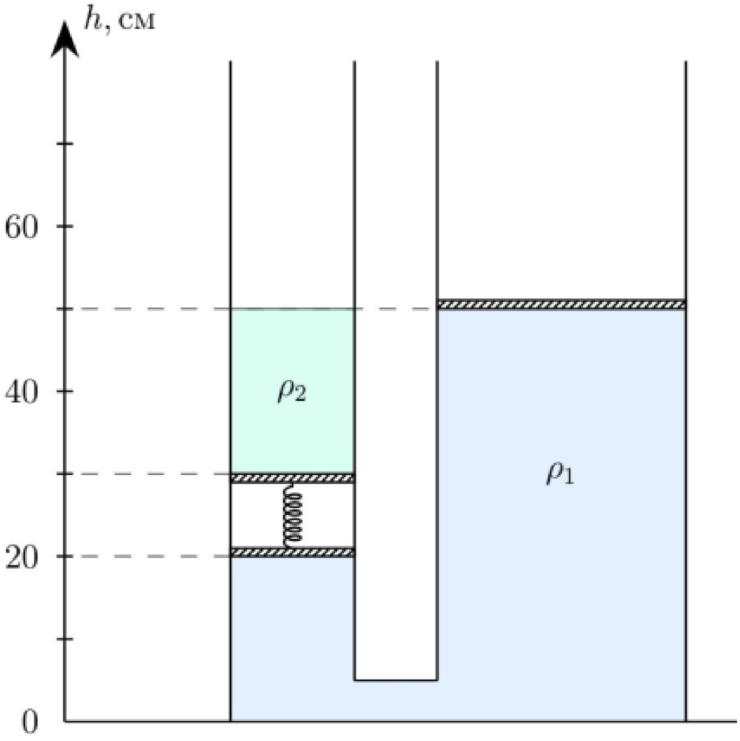
9.4.3. Определите высоту столба первой жидкости в широком сосуде h_1 (0,25 балла);

9.4.4. Нужно ли в задаче учитывать атмосферное давление? (0,25 балла)

9.4.5.Запишите выражение для давления второй жидкости на верхний левый поршень (0,5 баллов);

9.4.6.Запишите условие покоя верхнего левого поршня (0,5 баллов);

9.4.7.Запишите выражение для давления первой жидкости в правом сосуде на уровне нижнего левого поршня (0,5 баллов);



9.4.8.Запишите условие покоя нижнего левого поршня (0,5 баллов);

9.4.9.Определите величину деформации пружины ΔL (1,5 балла);

9.4.10.Найдите длину пружины в недеформированной состоянии L_0 (1,5 балла);

9.4.11. Определите плотность второй жидкости (малого объёма) ρ_2 (2 балла).

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

По рисунку определим высоту столба второй жидкости h_2 = 20 см = 0,2 м, длину пружины L = 10 см = 0,1 м, высоту столба первой жидкости в широком сосуде h_1= 50 см = 0,5 м. Атмосферное давление в задаче учитывать надо, так как в условии написано «давление газа между поршнями равно атмосферному». Обозначим атмосферное давление $p_{\text{атм}}$.

Определим давление второй жидкости на верхний левый поршень

$$p_1 = p_{\text{атм}} + \rho_2 g h_2.$$

Давление первой жидкости в правом сосуде на уровне нижнего левого поршня равно

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho_1 g (h_2 + L).$$

Давление второй жидкости на этом уровне равно

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \frac{F_{\text{упр}}}{S}.$$

Запишем условие покоя верхнего левого поршня в предположении, что пружина сжата

$$p_1 S = p_{\text{атм}} S + F_{\text{упр}}.$$

Запишем условие покоя нижнего левого поршня

$$p_2 S = p_{\text{атм}} S + F_{\text{упр}}.$$

Из записанных соотношений находим, что

$$p_1 = p_2.$$

Используя это выражение, находим, что

$$\rho_2 g h_2 = \rho_1 g (h_2 + L).$$

Таким образом можно найти плотность второй жидкости

$$\rho_2 = \rho_1 \frac{h_2 + L}{h_2};\ \rho_2 = 800 \frac{0{,}2 + 0{,}1}{0{,}2} = 1200\ \text{кг/м}^3.$$

Определим силу упругости и величину деформации пружины

$$p_2 S = p_{\text{атм}} S + F_{\text{упр}};$$

$$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho_1 g (h_2 + L).$$

Отсюда

$$F_{\text{упр}} = \rho_1 g (h_2 + L) S;$$

$$F_{\text{упр}} = k \cdot \Delta L;$$

$$\Delta L = \frac{\rho_1 g (h_2 + L) S}{k};\ \ \Delta L = \frac{800 \cdot 10 \cdot (0{,}2 + 0{,}1) \cdot 0{,}01}{500} = 0{,}048\ (\text{м}) = 4{,}8\ (\text{см}).$$

Тогда длина пружины в нерастянутом состоянии равна

$$L = L_0 + \Delta L;$$

$$L = 14{,}8\ \text{см}.$$

Задание	Ответ	Балл
9.4.1.Определите высоту столба второй жидкости h_2	0,2 м = 20 см	0,25
9.4.2. Определите длину пружины L	0,1 м = 10 см	0,25
9.4.3. Определите высоту столба первой жидкости в широком сосуде h_1	0,5 м = 50 см	0,25
9.4.4. Нужно ли в задаче учитывать атмосферное давление?	да	0,25
9.4.5.Запишите выражение для давления второй жидкости на верхний левый поршень	$p_1 = p_{\text{атм}} + \rho_2 g h_2$	0,5
9.4.6.Запишите условие покоя верхнего левого поршня	$p_1 S = p_{\text{атм}} S + F_{\text{упр}}$	0,5
9.4.7.Запишите выражение для давления первой жидкости в правом сосуде на	$p_2 = p_{\text{атм}} + \rho_1 g (h_2 + L)$	0,5

уровне нижнего левого поршня		
9.4.8.Запишите условие покоя нижнего левого поршня	$p_2 S = p_{\text{атм}} S + F_{\text{упр}}$	0,5
9.4.9.Определите величину деформации пружины ΔL	$\Delta L = \dfrac{\rho_1 g (h_2 + L) S}{k};$ $\Delta L = 0{,}048\ (\text{м}) = 4{,}8\ (\text{см})$	1,5
9.4.10.Найдите длину пружины в недеформированном состоянии L_0	$L = 14{,}8\ \text{см}$	0,5
9.4.11. Определите плотность второй жидкости (малого объёма) ρ_2	$\rho_2 = \rho_1 \dfrac{h_2 + L}{h_2};\ \rho_2 = 1200\ \text{кг/м}^3$	2

9.5.Тепловое равновесие

Если в калориметр поместить два тела с одинаковыми массами и температурами t_1 = 50^{0}С и t_2 = 10^{0}С, то после установления теплового равновесия температура окажется равной t_{12} = 20^{0}С.

9.5.1.Определите отношение теплоёмкостей тел c_2/c_1. (2 балла)

Если в калориметр поместить первое тело с температурой t_1 = 50^{0}С и третье тело с температурой t_3 = 80^{0}С, имеющее такую же удельную теплоёмкость, что первое тело, то после установления теплового равновесия температура окажется равной t_{13} = 60^{0}С.

9.5.2. Определите отношение масс тел m_3/m_1. (2 балла)

В калориметр одновременно помещают три этих тела с начальными температурами t_1 = 50^{0}С, t_2 = 10^{0}С и t_3 = 80^{0}С.

9.5.3. Какова теперь будет температура t в калориметре после установления теплового равновесия? (2 балла)

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Поместим в калориметр первое и второе тела, запишем уравнение теплового баланса

$$m_1c_1(t_{12}-t_1)+m_1c_2(t_{12}-t_2)=0.$$

Из записанного уравнения определим отношение теплоёмкостей (удельных теплоёмкостей)

$$\frac{c_2}{c_1}=\frac{t_1-t_{12}}{t_{12}-t_1};\ \frac{c_2}{c_1}=\frac{50-20}{20-10}=3.$$

Поместим в калориметр первое и третье тела, запишем уравнение теплового баланса

$$m_1c_1(t_{13}-t_1)+m_3c_1(t_{13}-t_1)=0.$$

Из записанного уравнения определим отношение теплоёмкостей

$$\frac{m_3}{m_1}=\frac{t_{13}-t_1}{t_3-t_{13}};\ \frac{m_3}{m_1}=\frac{60-50}{80-60}=\frac{1}{2}.$$

Поместим в калориметр все тела сразу, запишем уравнение теплового баланса

$$m_1c_1(t-t_1)+m_13c_1(t-t_2)+\frac{m_1}{2}c_1(t-t_3)=0.$$

Выразим температуру t

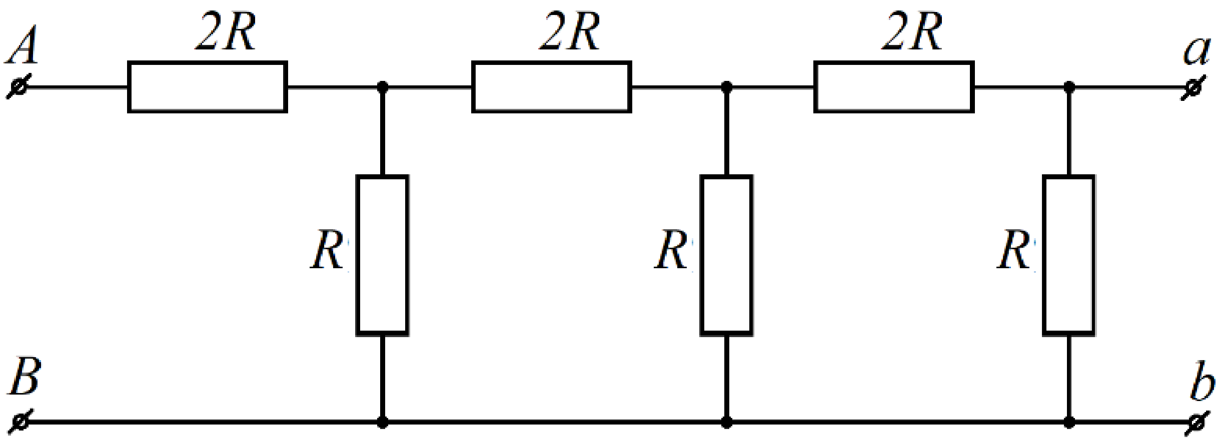
$$t=\frac{2}{9}\left(t_1+3t_2+\frac{t_3}{2}\right);\ \ t=26,7^0C.$$

Задание	Ответ	Балл
9.5.1.Определите отношение теплоёмкостей тел (удельных теплоёмкостей)	$\frac{c_2}{c_1}=\frac{t_1-t_{12}}{t_{12}-t_2};\ \frac{c_2}{c_1}=3$	2
9.5.2. Определите отношение масс тел m_3/m_1	$\frac{m_3}{m_1}=\frac{t_{13}-t_1}{t_3-t_{13}};\ \frac{m_3}{m_1}=\frac{1}{2}$	2
9.5.3. Какова теперь будет температура t в калориметре после установления теплового равновесия?	$t=\frac{2}{9}\left(t_1+3t_2+\frac{t_3}{2}\right);\ \ t=26,7^0C.$	2

При отсутствии правильных ответов в п.9.3.1 – 9.3.4 возможно выставление частичных баллов: - в п.9.5.1 и 9.5.2 ставится 1 балл, если верно записано уравнение теплового баланса, но не получен числовой ответ, - 1 балл - в п.9.5.3 верно написано уравнение теплового баланса - 1 балл.	

9.6. Под напряжением

К точкам А и В схемы подключают источник напряжения, а вольтметр,



присоединённый к точками a и b, показал напряжение U_{ab} = 1 В. Значение R = 150 Ом. Определите:

9.6.1. напряжение источника U (2 балла);

9.6.2. полное сопротивление цепи между точками A и B R_{AB} (2 балла);

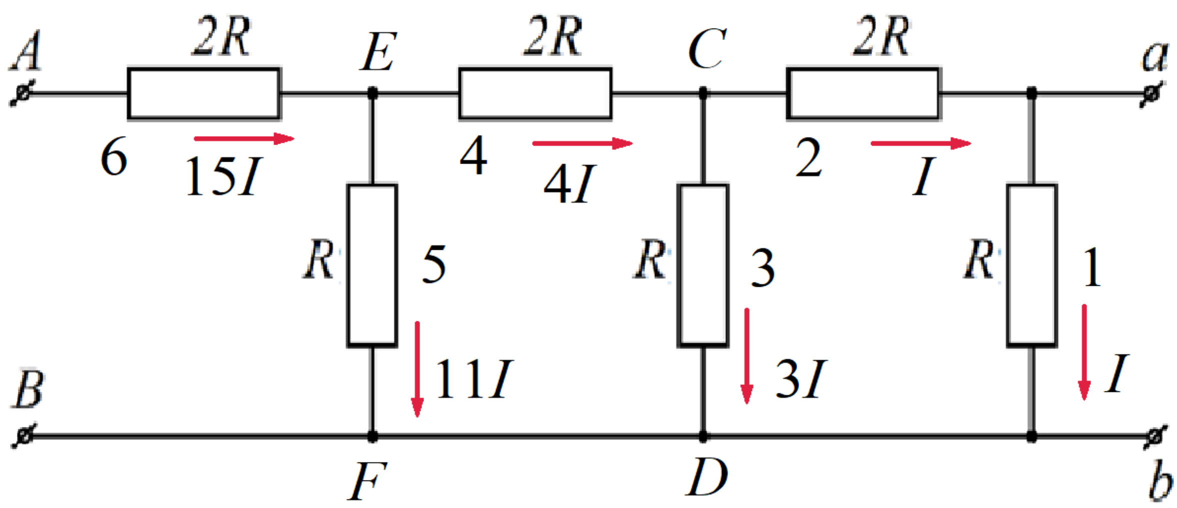
9.6.3. силу тока в резисторе $2R$, подключенном к точке A (2 балла).

ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Перенумеруем резисторы. Силу тока в первом резисторе обозначим I. По закону Ома

$$I = \frac{U}{R}.$$

Так как вольтметр, подключённый к точкам a и b идеальный, то ток во втором резисторе и в первом одинаковы и равны I. Напряжение на втором резисторе равно $2U$, так как его сопротивление равно $2R$.



Для определения силы тока через третий резистор выразим напряжение между точками C и D

$$U_{CD} = 3U = I_3 \cdot R = I \cdot 3R;$$

$$I_3 = 3I.$$

Ток через четвертый резистор равен

$$I_4 = 3I + I = 4I.$$

Напряжение на четвёртом резисторе равно

$$U_4 = 4I \cdot 2R = 8U.$$

Напряжение между точками E и F равно

$$U_{EF} = 8U + 3U = I_5 \cdot R = I \cdot 11R;$$

$$I_5 = 11I.$$

Ток через шестой резистор равен

$$I_6 = 11I + 4I = 15I;$$

$$I_6 = 15\frac{U}{R};\;\; I_6 = 0{,}1\text{ А}.$$

Напряжение между точками A и B равно

$$U_{AB} = 15I \cdot 2R + 11I \cdot R = 41IR = 41U;$$

$$U_{AB} = 41\text{ В}.$$

Определим сопротивление цепи между точками A и B

$$R_{AB} = \frac{U_{AB}}{15I} = \frac{41IR}{15I} = \frac{41}{15}R;\;\; R_{AB} = 410\text{ Ом}.$$

Задание	Ответ	Балл
9.6.1. напряжение источника U	41 В	2
9.6.2. полное сопротивление цепи между точками A и B R_{AB}	410 Ом	2
9.6.3. силу тока в резисторе $2R$, подключенном к точке A	0,1 А	2
При отсутствии правильных ответов ставятся частичные баллы: - записан закон Ома для первого резистора, определена сила тока через него – 0,5 балла; - ток через второй резистор равен току через первый резистор – 0,5 баллов; - найдено напряжение на втором резисторе – 0,5 балла		

9.7. Электрический чайник

Электрический чайник имеет мощность P = 1800 Вт. В него налили некоторую массу воды m и начали нагревать. Через какое-то время мощность чайника случайно изменили. На рисунке представлен график зависимости температуры воды в чайнике от времени нагревания. Часть графика оказалась чем-то заляпанной. Определите:

9.7.1.Начальную температуру воды t_0 (0,5 баллов)

9.7.2. Массу воды, налитой в чайник m (2 балла);

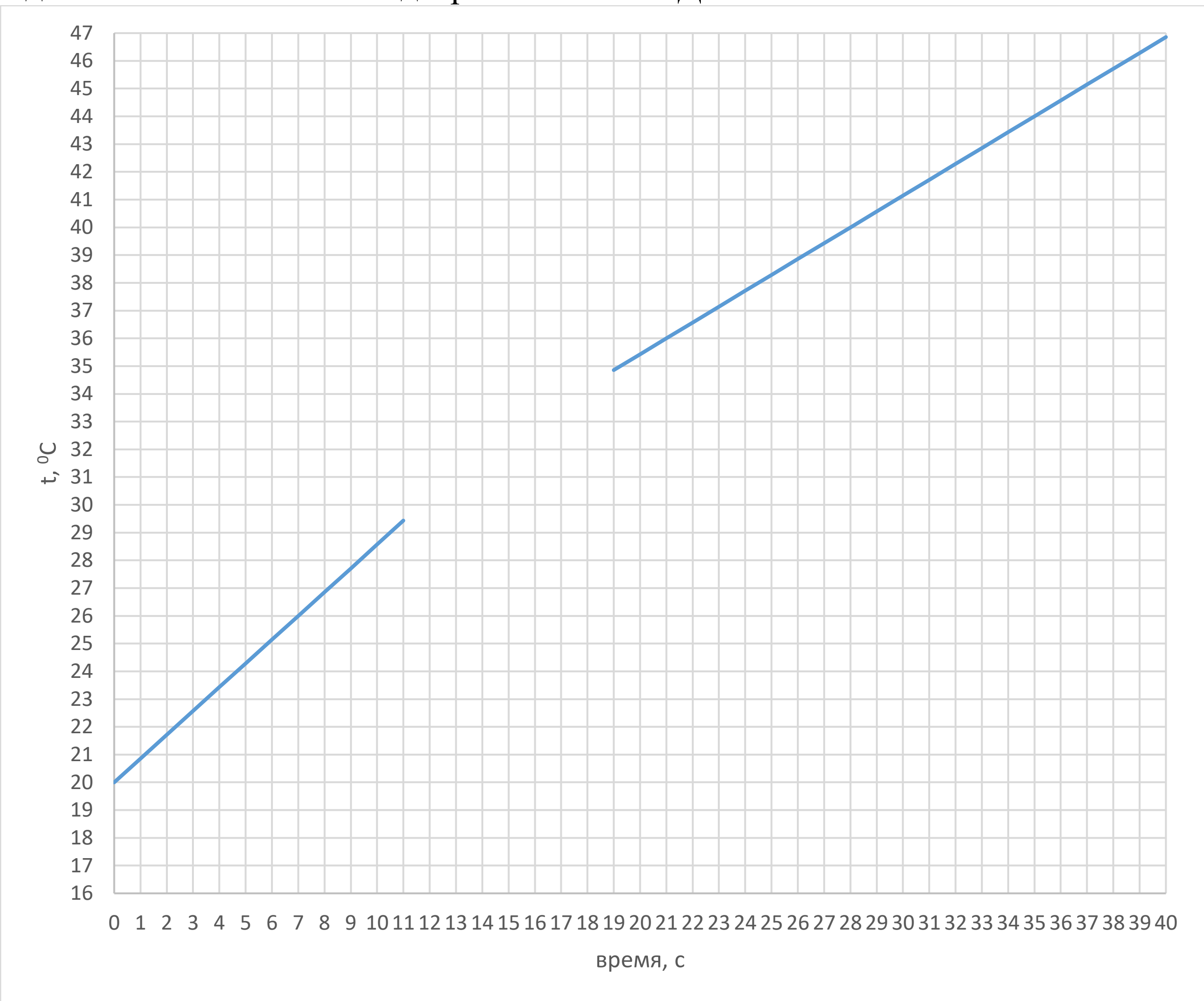
9.7.3.Мощность чайника после изменения P'(2 балла);

9.7.4. В какой момент времени изменили мощность чайника? (1 балл)

9.7.5. Сколько времени вода будет нагреваться до температуры кипения? (1,5 балла)

Считать, что во время нагревания масса воды не меняется, все количество теплоты, полученное от чайника, идет на нагревание воды.

Удельная теплоёмкость воды равна c = 4200 Дж/кг · ^{0}C.



ВОЗМОЖНОЕ РЕШЕНИЕ:

Рассмотрим нагревание воды с начальной температурой t_0 на нагревателе постоянной мощности P. В предположении, что всё тепло, полученное от чайника за время τ идёт на нагревание воды запишем уравнение теплового баланса

$$P\tau = cm(t - t_0).$$

Выразим зависимость температуры от времени

$$t(\tau) = t_0 + \frac{P}{cm}\tau.$$

Зависимость является линейной с угловым коэффициентом наклона k, который определяется мощностью нагревателя, массой воды и её теплоемкостью

$$k = \frac{P}{cm}.$$

Таким образом, на нашей графике должны быть два линейный участка: на первом мощность чайника равна P = 1800 Вт, на втором неизвестна.

По графику находим начальную температуру воды $t_0 = 20^0$C. Также по графику находим, что в момент времени 7 секунд температура воды равна 26^0C. Определим угловой коэффициент наклона на первом участке

$$k_1 = \frac{26 - 20}{7} = \frac{6}{7}\ \left({}^0C/\text{с}\right).$$

Зная мощность чайника на этом участке, определим массу воды, налитой в чайник

$$m = \frac{P}{ck_1};\ \ m = \frac{1800 \cdot 7}{4200 \cdot 6} = 0{,}5\ (\text{кг}).$$

Определим угловой коэффициент наклона графика на втором участке k_2. Для этого найдем на графике хорошие точки, координаты которых точно определяются - (21 с; 36^0C) и (35 с; 44^0C)

$$k_2 = \frac{44 - 36}{35 - 21} = \frac{8}{14}\ \left({}^0C/\text{с}\right).$$

Так как масса воды остается прежней, то мощность чайника на этом участке равна

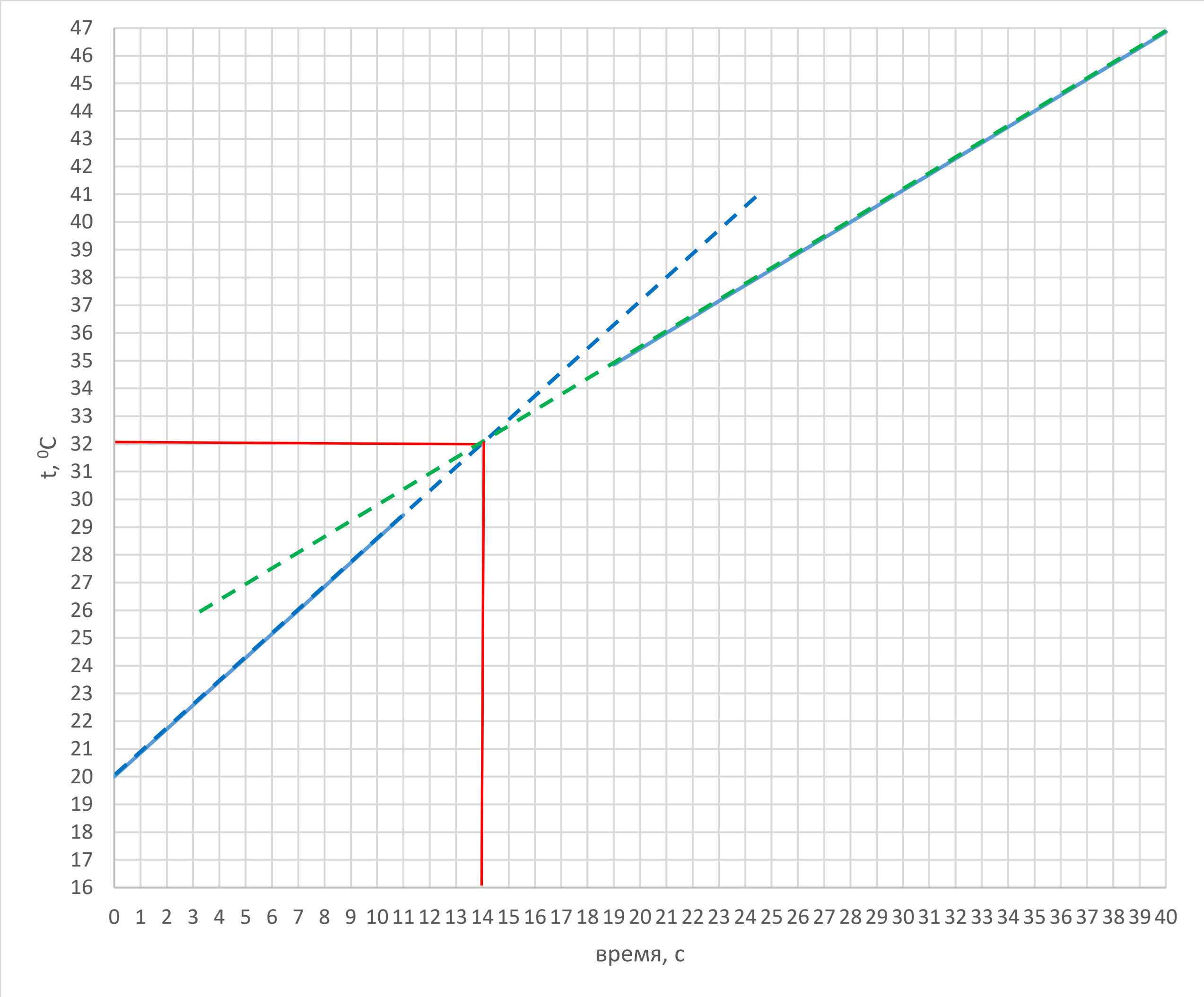
$$\frac{k_2}{k_1} = \frac{P_2}{P_1};\quad P_2 = P_1 \cdot \frac{k_2}{k_1};\ P_2 = 1800 \cdot \frac{8 \cdot 7}{14 \cdot 6} = 1200\ (\text{Вт}).$$

Для определения момента времени, когда мощность чайника была изменена, продолжим графики до пересечения. Получим момент времени 14 с и температуру $t_1 = 32^0$C.

Посчитаем, сколько времени чайник с новой мощностью будет нагреваться до температуры кипения $t_{\text{кип}} = 100^0$C.

$$P'\tau' = cm(t_{\text{кип}} - t_1);$$

$$\tau' = \frac{cm(t_{\text{кип}} - t_1)}{P'};\ \ \tau' = \frac{0{,}5 \cdot 4200 \cdot (100 - 32)}{1200} = 119\ c.$$



Задание	Ответ	Балл
9.7.1.Начальная температуру воды t_0	20^0C	0,5
9.7.2. Масса воды, налитой в чайник *m*	0,5 кг	2
9.7.3.Мощность чайника после изменения *P'*	1200 Вт	2
9.7.4. В какой момент времени изменили мощность чайника?	14 с	1
9.7.5. Сколько времени вода будет нагреваться до температуры кипения?	119 секунд после изменения мощности, 133 секунды после начала нагревания	1,5
В случае отсутствия правильных ответов ставятся частичные баллы, если: - верно записано уравнение теплового баланса для нагревания воды в чайнике – 1 балл; - определен угловой коэффициент наклона графика – 1 балл		