Возможные решения

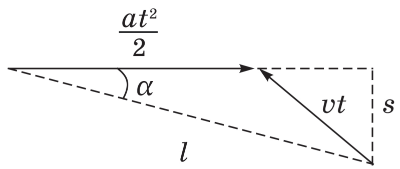
Задача №9-1. Автобус

Решение в СО дороги:

Для того чтобы выполнялось условие минимальности времени, Настя:

а) должна двигаться прямолинейно, т.к. в противном случае, у нее появилась бы возможность за то же время оказаться на дороге ближе к остановке, чем при криволинейном движении

б) не должна ждать автобуса на дороге, следовательно, девочка и автобус достигают точки встречи одновременно.



Рассмотрим прямоугольный треугольник с гипотенузой l: $\cos\alpha = \dfrac{\sqrt{l^2 - s^2}}{l}$ (см. рисунок). Запишем теорему косинусов:

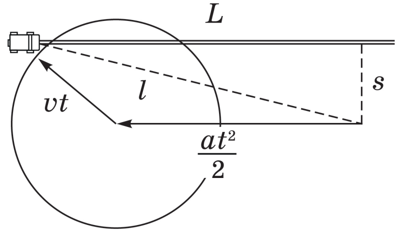
$$v^2t^2 = l^2 - lat^2\cos\alpha + \frac{a^2t^4}{4}$$

Подставив косинус в уравнение получим:

$$v^2t^2 = l^2 - at^2\sqrt{l^2 - s^2} + a^2t^4/4$$

Решение в СО автобуса:

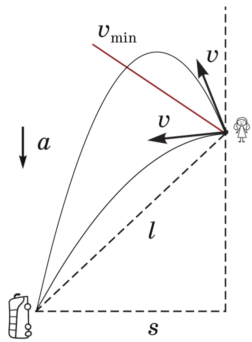
В системе отсчета автобуса точка из которой начала движение девочка за время t смещается параллельно дороге на расстояние $at^2/2$. За это время Настя может удалиться от этой точки на расстояние vt. Покажем эти перемещения на рисунке. Геометрическое место точек, в которых может оказаться девочка, имеет вид окружности. Минимальное время $t = \tau$ соответствует касанию окружности автобуса.



Обозначим начальное расстояние вдоль дороги между автобусом и Настей за L. Дважды запишем теорему Пифагора: $L^2 = l^2 - s^2$ и $(v\tau)^2 = (L - a\tau^2/2)^2 + s^2$.

«Баллистическое» решение

Можно воспользоваться методом аналогий. Равноускоренное движение девочки в системе отсчета автобуса эквивалентно движению тела, брошенного со скоростью v в поле однородной гравитации с ускорением свободного падения a. См. рисунок.



Тогда задача сводится к поиску времен движения тела с заданными начальной скоростью и ускорением в точку, находящуюся на расстоянии s по горизонтали и $\sqrt{l^2 - s^2}$ по вертикали. Минимальное время достигается при движении по «настильной» траектории. При таком подходе интуитивно понятным становится ОДЗ – не при любой начальной скорости тело сможет долететь до заданной точки.

Решая биквадратное уравнение относительно времени, получим:

$$\tau = \sqrt{\frac{4(aL + v^2) \pm \sqrt{4^2(aL + v^2)^2 - 16a^2 l^2}}{2a^2}}$$

Видно, что подкоренное выражение всегда положительное, т.к.

$$4(aL + v^2) > \sqrt{4^2(aL + v^2)^2 - 16a^2 l^2}.$$

Выбираем меньший из двух корней из соображений минимальности времени. Чтобы решение существовало, выражение под внутренним корнем должно быть положительным: $v^4 + 2v^2 La - a^2 s^2 > 0$, иначе Настя не успеет даже добежать до дороги, по которой пронесется автобус, быстро набравший большую скорость.

$$\tau = \sqrt{2\frac{v^2 + La - \sqrt{v^4 + 2v^2 La - a^2 s^2}}{a^2}}$$

Задача №9-2. Черепахи

Поскольку скорости черепах все время направлены от одной черепахи к другой и постоянны по модулю, расстояния между каждой из них уменьшаются с постоянными скоростями. Обозначим скорости изменения расстояний AB, BC и AC за v_{AB}, v_{BC} и v_{AC}. Они равны:

$$v_{AB} = v_1 = v,\ v_{BC} = v_2 + \frac{v_3}{\sqrt{2}},\ v_{AC} = v_3 + \frac{v_1}{\sqrt{2}}.$$

Откуда находим:

$$t = \frac{l}{v}.$$

Поскольку углы в треугольнике ABC остаются постоянными, сохраняются и соотношения между его сторонами. Это означает, что скорости изменений сторон треугольника пропорциональны их длинам:

$$\frac{v_{AB}}{AB} = \frac{v_{BC}}{BC} = \frac{v_{AC}}{AC}$$

Найдём v_3:

$$\frac{v}{l} = \frac{\dfrac{v}{\sqrt{2}} + v_3}{L\sqrt{2}} \rightarrow v_3 = \frac{v}{\sqrt{2}}.$$

Аналогично находим v_2:

$$\frac{v}{l} = \frac{v_2 + v/2}{l} \rightarrow v_2 = v/2.$$

Ускорения черепах имеют только нормальную компоненту. Заметим, что в любой момент векторы скоростей черепах вращаются с одинаковыми угловыми скоростями, равными угловой скорости ω вращения треугольника. Найдем эту угловую скорость, рассматривая движение второй черепахи относительно первой:

$$\omega = \frac{v_2}{AB} = \frac{v}{2AB}.$$

В начальный момент она равна:

$$\omega_0 = \frac{v}{2l}$$

Тогда для ускорений в начальный момент получим:

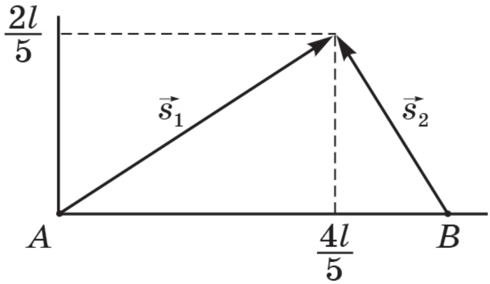
$$a_1 = \omega_0 v_1;\ a_2 = \omega_0 v_2;\ a_3 = \omega_0 v_3.$$

Откуда:

$$a_1 = \frac{v^2}{2l};\ a_2 = \frac{v^2}{4l};\ a_3 = \frac{v^2}{2\sqrt{2}l}.$$

Поскольку модуль вектора скорости второй черепахи всегда вдвое меньше модуля вектора скорости первой черепахи, а направления этих скоростей взаимно перпендикулярны, таким же будет соотношение между векторами их перемещений $\vec{s_1}$ и $\vec{s_2}$. Так как черепахи встретились:

$$\vec{s_1} = \vec{AB} + \vec{s_2}.$$



Применив теорему Пифагора для прямоугольного треугольника найдем:

$$s = s_1 = \frac{2l}{\sqrt{5}}.$$

Задача №9-3. Ап стену

В решении идет речь о проекциях скоростей на ось x, направленную к стене.

Первое столкновение шайб:

Скорость центра масс: $u_{\text{ц.м.}} = u/2$, а проекции скоростей шайб в системе отсчета центра масс (СЦМ) равны $u/2$ и $-u/2$. Запишем энергию системы после столкновения в СЦМ, v – скорости после соударения:

$$mu^2 \cdot (1-\alpha) = mv^2, v = \sqrt{1-\alpha} \cdot u/2$$

Обозначим: $\beta = \sqrt{1-\alpha}$. Возвращаясь в лабораторную СО, получим: $u_2 = -\beta u/2 + u/2 = (1-\beta)u/2$, $u_1 = \beta u/2 + u/2 = (1+\beta)u/2$. После удара, первая шайба будет двигаться в сторону стены, упруго от неё отразится и полетит обратно со скоростью $-u_1 = -(1+\beta)u/2$.

Второе столкновение шайб:

Первая движется со скоростью $-(1+\beta)u/2$, а вторая ей навстречу с $(1-\beta)u/2$. Скорость центра масс

$$u_{\text{ц.м.}} = \frac{(1-\beta)u/2 - (1+\beta)u/2}{2} = -\beta u/2$$

, а скорости шайб в СЦМ: $-u/2$ и $u/2$. После удара доля α энергии рассеивается и скорости в СЦМ становятся равными $\beta u/2$ и $-\beta u/2$. Возвращаясь в лабораторную СО, получим, что скорость второй шайбы станет равна $u_2 = -\beta u/2 - \beta u/2 = -\beta u$, а первой $u_1 = \beta u/2 - \beta u/2 = 0$, следовательно первая шайба остановится.

Три этапа для первой шайбы:

1) движение к стене со скоростью $(1+\beta)u/2$

2) движение от стены со скоростью $(1+\beta)u/2$

3) покой на расстоянии s_1 от стены

Найдем времена движения на двух первых участках: Время от первого соударения, до удара о стену:

$$t_1 = \frac{s}{(1+\beta)u/2} = \frac{2s}{(1+\beta)u}.$$

За это время вторая шайба проходит расстояние:

$$s_2 = u_2 \cdot t_1 = (1-\beta)\frac{u}{2} \cdot \frac{2s}{(1+\beta)u} = \frac{(1-\beta)s}{1+\beta},$$

и, следовательно, расстояние от второй шайбы до стены, или расстояние между шайбами после удара первой шайбы о стенку, равно:

$$s - \frac{(1-\beta)s}{1+\beta} = \frac{2\beta}{1+\beta}s$$

Шайбы сближаются со скоростью $(1+\beta)u/2 + (1-\beta)u/2 = u$. Второе столкновение происходит через:

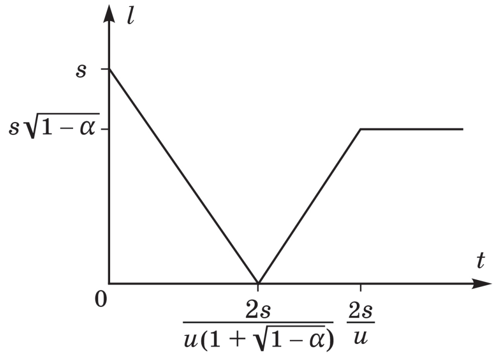
$$t_2 = \frac{2\beta}{1+\beta}\frac{s}{u},\ t_1 + t_2 = \frac{2s}{u}$$

К этому результату можно прийти проще: По ЗСИ $mu_{\text{л}} + mu_{\text{п}} = mu \ \to u = v_1 + v_2$. Тогда суммарное перемещение двух шайб между ударами $2s = u_{\text{л}}t + u_{\text{п}}t = ut$, и $t = \dfrac{2s}{u}$ Первая шайба удалится от стены на расстояние:

$$s_1 = \frac{2\beta}{1+\beta}\frac{s}{u} \cdot \frac{1+\beta}{2}u = \beta s = s\sqrt{1-\alpha}$$

Там она и остановится.

График $l(t)$ имеет вид:



Задача №9-4. Ледяная картина

Ответ на первый вопрос задачи можно найти сразу с помощью диаграммы состояний. Для 0,5 кг льда $1/m_л = 2$ кг$^{-1}$. Точка соответствующая такой массе и температуре –10°С попадает в область между зонами льда и воды, а значит соответствует смеси, находящейся в равновесном состоянии при температуре 0 °С.

Чтобы найти начальную массу и температуру воды запишем уравнения теплового баланса для геометрического множества точек границ зон льда и воды.

Все точки правой границы зоны льда соответствуют конечному состоянию, в котором все содержимое сосуда окажется в виде льда при 0 °С.

$$m_л c_л (0 - t_л) = mc(t - 0) + m\lambda,$$

откуда

$$t_л = -\frac{m(ct + \lambda)}{c_л} \cdot \frac{1}{m_л}$$

Коэффициент наклона $\dfrac{m(ct+\lambda)}{c_л}$ находим из графика. Он равен $k_1 = 55$ °С·кг. Все точки левой границы зоны воды соответствуют конечному состоянию, в котором все содержимое сосуда окажется в виде воды при 0 °С.

$$m_л c_л (0 - t_л) + m_л \lambda = mc(t - 0),$$

откуда

$$t_л = \frac{\lambda}{c_л} - \frac{mct}{c_л} \cdot \frac{1}{m_л}$$

Коэффициент наклона $\dfrac{mct}{c_{л}}$ находим из графика. Он равен $k_2 = 29$ °C · кг.

Остается решить систему уравнений: $\begin{cases} \dfrac{m(ct+\lambda)}{c_{л}} = k_1, \\ \dfrac{mct}{c_{л}} = k_2 \end{cases}$

Разделим верхнее уравнение на нижнее $1 + \dfrac{\lambda}{ct} = \dfrac{k_1}{k_2}$, и найдём:

$t = 88$ °C

Массу воды можно найти, подставив найденную температуру, например, во второе уравнение системы.

$$m = \frac{c_{л}k_2}{ct} = 165 \text{ г}$$

Учитывая, что исходные данные взяты из графика, допускаются отклонения от авторских значений для температуры в диапазоне от 84 °C до 92 °C, а для массы от 160 г до 170 г.

Альтернативное решение «по двум точкам»:

На правой прямой при температуре льда равной нулю остывание воды до нуля полностью плавит лед: $m_{л2}\lambda = mct$, где $m_{л2} = 1/5{,}4$ кг На левой прямой лед, нагреваясь до нуля, охлаждает воду до нуля и кристаллизует ее. Берем любую точку на этой прямой, например $m_1 = 1/0{,}4$ кг и $t_{л1} = -22$ °C, уравнение имеет вид:

$$m_{л1}c_{л}t_{л1} = mct + m\lambda$$

Вычитая из второго уравнения первое получаем:

$$m = 0{,}165 \text{ кг}$$

$$t = 88 \text{ °C}$$

Задача №9-5. Электроцикл

Стрелки процессов указывают на то, что от состояния 1 до состояния 3 сила тока увеличивается, а затем уменьшается до начального значения. По условию это происходит с постоянной по модулю скоростью.

Из графика следует, что на участках $1-2$ и $3-4$ токи текут только через резисторы. Действительно, если на участке $1-2$ был бы открыт один из диодов, то при изменении силы тока I показания вольтметра совпадали бы с напряжением открытия диода и не изменялись.

При напряжениях 4 В и 8 В диоды открываются и сила тока на участках $4-1$ и $2-3$ изменяется при неизменных показаниях вольтметра. Следовательно,

$$U_{01} = 4\ \text{В},\ U_{02} = 8\ \text{В}$$

Сопротивления фрагмента на участках $1-2$ и $3-4$ отличаются, что следует из различных коэффициентов наклона участков диаграммы, причем $R_{34} < R_{12}$. Откуда

$$R_{12} = R_1,\ R_{34} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Заметим, что сила тока через резистор R_1 на всем участке $2-3$ не изменяется, а увеличение общего тока компенсируется увеличением тока через диод D_2.

Так же заметим, что ключ K_2 до завершения участка $2-3$ замыкаться не мог, так как при неизменном общем токе это привело бы к мгновенному уменьшению сопротивления фрагмента и напряжения на нем. Диод сразу бы закрылся, и система перешла в состояние, соответствующее такому же току на участке $3-4$.

Аналогичные рассуждения приводят к выводу, что на участке $4-1$ ток также идет только через резистор R_1. Если в т.4 не разомкнуть ключ K_2, отключив резистор R_2, дальнейшее уменьшение общего тока приведет к закрытию диода и переходу системы в состояние, находящееся на продолжении процесса $3-4$.

Обозначим силу тока в т.1 за I_0. Тогда количество теплоты Q_{23}, выделившееся на резисторе R_1 на участке $2-3$, может быть найдено по формуле $Q_{23} = 2I_0 U_2 t_{23}$. С другой стороны, за время t_{23} сила тока возросла с $2I_0$ до $6I_0$. Поэтому $4I_0 = kt_{23}$.

Решая систему, получим:

$$I_0 = \sqrt{\frac{kQ_{23}}{8U_2}} = 0{,}01\ \text{А}.$$

За цикл сила тока в цепи увеличивалась от I_0 до $6I_0$, а затем уменьшалась на такую же величину. Длительность одного цикла равна

$$\tau = 2 \cdot \frac{50\ \text{мА}}{1\ \dfrac{\text{мА}}{\text{с}}} = 100\ \text{с}.$$

В т.4 замыкается ключ K_1 и одновременно размыкается ключ K_2, в результате чего через D_1 сразу идет ток $2I_0$, который постепенно уменьшается до нуля (в состоянии 1). Через резистор R_1 на всем процессе $4-1$ идет постоянный ток I_0.

Аналогично тому как было найдено Q_{23}, найдем и Q_{41}. $Q_{41} = I_0 U_1 t_{41}$, где $t_{41} = 2I_0/k = 20$ с.

$$Q_{41} = 0{,}8 \text{ Дж}.$$

Сопротивления R_{34} и R_{12} можно рассчитать через коэффициенты наклона соответствующих прямых: $R_1 = 400$ Ом, $\dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = 133$ Ом, откуда $R_2 = 200$ Ом.

Можно предложить такую последовательность действий, приводящую к заданному виду цикла.

$1 - 2$: Ключи разомкнуты. Ток течет только через R_1. Второй диод закрыт. $2 - 3$: Открывается диод. Ток идет через R_1 и второй диод. $3 - 4$: Замыкают второй ключ. Диод закрывается. Силу тока начинают уменьшать. $4 - 1$: Когда напряжение в цепи уменьшилось до 4 В, замыкают первый ключ и одновременно размыкают второй ключ. Первый диод открывается. В конце участка первый ключ опять размыкают.

Задача **Ru22-9-T1. Автобус** $\sum =$

Шифр

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Аргументирована прямолинейность движения девочки	1.00	
1.2	Обосновано, что девочка не останавливается до встречи	1.00	
1.4	Пояснительный рисунок (или подробное словесное описание величин, используемых при решении задачи). Примечание: если утверждается, что девочка должна двигаться перпендикулярно дороге, то за этот и последующие пункты ставится 0 баллов.	1.00	
1.5	Кинематические соотношения, описывающие относительное движение автобуса и девочки (в любых системах отсчёта).	2.00	
1.6	Математическое обоснование дальнейших действий над исходными кинематическими соотношениями (т. косинусов, т. Пифагора и т.п.).	1.00	
1.7	Получено биквадратное уравнение относительно времени	2.00	
1.8	Решение уравнения	2.00	
1.9	Аргументированно выбран меньший корень	1.00	
1.10	Учтено ОДЗ, при котором решение есть	1.00	

Задача **Ru22-9-T2. Черепахи** $\sum =$

Шифр

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.2	Найдена скорость v_{AB} изменения стороны AB	0.50	
1.3	Найдено время $t = \frac{l}{v}$, через которое черепахи встретятся	0.50	
2.1	Составлено выражение для скорости v_{BC}	1.00	
2.2	Составлено выражение для скорости v_{AC}	1.00	
2.3	Найдена скорость $v_2 = \frac{v}{2}$	0.50	
2.4	Найдена скорость $v_3 = \frac{v}{\sqrt{2}}$	0.50	
3.1	Обосновано, что полное ускорение равно нормальному	0.50	
3.2	Найдены скорости поворота векторов v_1, v_2, v_3	0.50	
3.3	Формула $a = \omega \cdot v$ или аналогичная	0.50	
3.4	Найдено ускорение $a_1 = \frac{v^2}{2l}$	0.50	
3.5	Найдено ускорение $a_2 = \frac{v^2}{4l}$	0.50	
3.6	Найдено ускорение $a_3 = \frac{v^2}{2\sqrt{2}l}$	0.50	
4.1	Найдено отношение модулей перемещений	2.00	
4.2	Показано, что угол между векторами s_1 и s_2 прямой	2.50	
4.3	Найдено расстояние $s = \frac{2}{\sqrt{5}}l$	0.50	

Задача **Ru22-9-T3. Ап стену** $\sum =$

Шифр

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Найдена скорость центра масс системы до столкновения первой шайбы со стеной	0.50	
1.2	Рассчитаны скорости шайб в системе отсчёта центра масс (СЦМ) до первого соударения шайб	0.50	
1.3	Записана энергия системы в СЦМ после первого соударения шайб	1.00	
1.4	Рассчитаны скорости шайб в системе отсчета центра масс после первого соударения	0.50	
1.6	Найдена скорость первой шайбы после первого соударения шайб в лабораторной СО	1.00	
1.7	Найдена скорость второй шайбы после первого соударения шайб в лабораторной СО	1.00	
1.8	Найдена скорость первой шайбы после упругого столкновения со стеной	0.50	
1.9	Найдена скорость центра масс системы после столкновения первой шайбы со стеной	0.50	
1.10	Рассчитаны скорости шайб в системе отсчета центра масс после столкновения первой шайбы со стеной	0.50	
1.12	Рассчитаны скорости шайб в системе отсчета центра масс после второго соударения	0.50	
1.13	Найдена скорость первой шайбы в лабораторной СО (учтён факт её остановки) после второго соударения шайб	1.00	
1.15	Найдена скорость второй шайбы в лабораторной СО после второго соударения шайб (либо учтён факт, что она удаляется от стены)	0.50	
1.16	Рассчитано время t_1	0.50	
1.17	Рассчитано время t_2	1.00	
1.18	Рассчитано расстояние s_1	1.00	
1.21	График $l(t)$. Примечание: следующие пункты оцениваются только при условии, что график верный.		
1.22	Указаны координаты характерных точек:		
1.23	$l = s_1 = s\sqrt{1-\alpha}$	0.20	
1.24	$t = t_1 = \dfrac{2s}{u(1+\sqrt{1-\alpha})}$	0.20	
1.25	$t = t_1 + t_2 = \dfrac{2s}{u}$	0.20	
1.26	Проведены прямые:		
1.27	$l(t)$ при $t \in [0, t_1]$	0.20	
1.28	$l(t)$ при $t \in [t_1, t_1 + t_2]$	0.20	
1.29	$l = s_1$ при $t > t_1 + t_2$	0.20	
1.30	Подписаны оси (если график неверный, пункт не оценивается)	0.30	

Задача **Ru22-9-T4. Ледяная картина** $\sum =$

Шифр

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.1	Правильно интерпретировано, что незакрашенная область диаграммы соответствует двухфазному состоянию системы	1.00	
1.2	Определена конечная температура системы при добавлении 0,5 кг льда	1.00	
2.0	Метод "по наклону прямых":		
2.2	**M1** Записано уравнение теплового баланса для точек границы зоны льда	2.00	
2.3	**M1** Записано уравнение теплового баланса для точек границы зоны воды	2.00	
2.7	**M1** Определены коэффициенты наклона границ зон:		
2.8	**M1** $k_1 = [52 - 58]\ ^\circ\mathrm{C} \cdot \text{кг}$	0.50	
2.9	**M1** Верно указаны единицы измерения k_1	0.50	
2.10	**M1** $k_2 = [28 - 30]\ ^\circ\mathrm{C} \cdot \text{кг}$	0.50	
2.11	**M1** Верно указаны единицы измерения k_2	0.50	
2.12	Метод "по двум точкам":		
2.13	**M2** Записано уравнение теплового баланса для одной точки границы зоны льда	2.00	
2.14	**M2** Записано уравнение теплового баланса для одной точки границы зоны воды	2.00	
2.15	**M2** Указаны координаты выбранных точек по 0,5 за координату	4×0.50	
2.16	–		
2.17	Определено значение начальной температуры воды: $82\ ^\circ\mathrm{C} < t < 94\ ^\circ\mathrm{C}$	2.00	
2.18	$77\ ^\circ\mathrm{C} < t < 99\ ^\circ\mathrm{C}$	1.00	
2.19	Определена масса воды: $0{,}155\ \text{кг} < m < 0{,}175\ \text{кг}$	2.00	
2.20	$0{,}145\ \text{кг} < m < 0{,}185\ \text{кг}$	1.00	

Задача **Ru22-9-T5. Электроцикл** $\sum =$

Шифр

	Пункт разбалловки	Балл	Наличие
1.0	Обоснованы состояния диодов на всех участках		
1.2	Обосновано закрытое состояние диодов на участках $1-2$ и $3-4$ (в том числе указано, что на этих участках закрыт K_1)	0.50	
1.4	Обосновано открытое состояние диодов на участках $2-3$ и $4-1$	0.50	
1.5	Найдены напряжения открытия диодов	0.50	
2.0	Соответствие наклонных участков и активных сопротивлений		
2.2	$R_{12} = R_1$	0.20	
2.3	$R_{34} = \dfrac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	0.30	
3.0	Состояние ключа K_2 на вертикальных участках:		
3.2	Обосновано, почему ключ K_2 до завершения участка $2-3$ не мог замыкаться	1.00	
3.3	Аналогично для участка $4-1$	1.00	
3.4	Указано, что K_2 замыкается в точке 3	0.50	
3.5	Сила тока через резистор R_1 на всем участке $2-3$ не изменяется и равна силе тока в точке 2 $(2I_0)$	0.50	
3.6	Расчет количества теплоты на участке $2-3$		
3.7	$Q_{23} = 2I_0U_0t_{23}$, или $Q_{23} = \dfrac{U_{02}^2}{R_1}t_{23}$, или $Q_{23} = (2I_0)^2R_1t_{23}$	0.70	
3.8	$4I_0 = kt_{23}$	0.30	
3.9	Найден масштаб по оси ординат		
3.10	$I_0 = \sqrt{\dfrac{kQ_{23}}{8U_{02}}}$	0.50	
3.11	$I_0 = 0{,}01\ \text{А}$	0.50	
3.12	Найдено время цикла		
3.13	$\tau = 2\dfrac{5I_0}{k}$	0.50	
3.14	$\tau = 100\ \text{с}$	0.50	
4.1	Обосновано, что в т.4 одновременно с размыканием ключа K_2 замыкается ключ K_1	0.50	
4.2	Обосновано, что через резистор R_1 на всем процессе $4-1$ идет постоянный ток I_0	0.50	
4.3	Найдены сопротивления резисторов		
4.4	$R_1 = 400\ \text{Ом}$	0.40	
4.5	$\dfrac{R_1R_2}{R_1+R_2} = 133\ \text{Ом}$ или $\dfrac{R_1}{R_2} = 2$	0.30	
4.6	$R_2 = 200\ \text{Ом}$	0.30	
4.7	Расчет количества теплоты на участке $4-1$		
4.8	$Q_{41} = I_0U_01t_{41}$ или аналогичное	0.70	
4.9	$t_{41} = 2I_0/k$	0.30	
4.10	$Q_{41} = \dfrac{U_{01}}{4U_{02}}Q_{23}$	0.50	
4.11	$Q_{41} = 0{,}8\ \text{Дж}$	0.50	