

Условие

Задание 3 Замкнутая цепочка

Присоедините свободный конец дополнительной нити к левой, связанной с нитью, скрепке. К левой скрепке подвесьте 5 или 6 скрепок.

3.1 Измерьте зависимость координаты скрепок от времени $x(t)$.

Постройте график полученной зависимости.

3.2 Определите какая из моделей (равномерное или равноускоренное движение) точнее описывает полученную Вами зависимость. Ответ обоснуйте графически.

3.3 Качественно объясните полученный результат.

Задача 9-2 Теплоёмкость и теплоотдача

Приборы и оборудование: стержень металлический, мензурка стеклянная (100 мл), мензурка стеклянная (250 мл), термометр электронный, термометр спиртовой (50°C), секундомер с памятью этапов, контейнер пластмассовый (1,8л), кружка мерная пластмассовая (1л), стаканчик пластмассовый для приготовления тёплой воды – 2 шт, штатив с лапкой, салфетки – 5шт.

На кабинет: ведро пластмассовое для холодной и горячей воды (2шт, 10л), чайник электрический (2 шт), весы электронные (2 шт).

В данной задаче Вам предстоит определить удельную теплоёмкость металлического стержня, исследовав процесс теплоотдачи двух систем: система 1 – стеклянная мензурка, полностью заполненная водой; система 2 – стеклянная мензурка, с помещённым в него металлическим стержнем полностью заполненная водой.

Теплоёмкость системы тел равна сумме теплоёмкостей тел входящих в данную систему.

Мощность теплоотдачи системы тел, с одной стороны, можно определить

$$P = -\frac{Q_{21}}{\Delta\tau_{21}} = -\frac{C\Delta t_{21}}{\Delta\tau_{21}} \quad (1).$$

$$P = -\frac{Q_{21}}{\Delta\tau_{21}} = -\frac{C\Delta t_{21}}{\Delta\tau_{21}}. \quad (1)$$

Где Q_{21} – количество теплоты, отдаваемое системой тел за промежуток времени между двумя «соседними» показаниями термометра, C – теплоёмкость системы тел, Δt_{21} – разность двух «соседних» показаний термометра, $\Delta\tau_{21} = \tau_2 - \tau_1$ – промежуток времени между двумя «соседними» показаниями термометра.

С другой стороны, при охлаждении системы тел мощность теплоотдачи прямо пропорциональна разности температур системы тел и окружающей среды $\Delta t_{\frac{\tau}{\text{ср}}}$

$$P = -\beta \Delta t_{\frac{\tau}{\text{ср}}} \quad (2).$$

β – коэффициент тепл

$$P = -\beta \Delta t_{\frac{\tau}{\text{ср}}}. \quad (2)$$

β – коэффициент теплоотдачи, для указанных двух систем имеет одинаковое значение. В уравнениях (1) и (2) в правой части стоит знак «минус», потому что теплота отдаётся системой.

Справочные данные: (средние значения в интервале температур от 30°C до 50°C)

	Плотность,	Удельная теплоёмкость, $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$
Стекло	2500	840
Вода	992	4170
Сплавы алюминия	2500 – 2800	900 – 920
Сплавы меди	8100 – 8900	390 – 410
Сплавы железа	7000 – 7800	450 – 470

Внимание: Электронный термометр включается и выключается нажатием красной кнопки. При длительной работе термометр может сам выключиться. Повторное включение осуществляется нажатием красной кнопки. Если во время снятия показаний у Вас выключится термометр, не теряйтесь, а просто нажмите на красную кнопку.*

Погрешности косвенных измерений в данной задаче вычислять не требуется. Теплоёмкостью пластмассовой подставки для мензурки и термометра пренебречь.

1. Наполните меньшую мензурку до краёв водой при температуре 45 - 50°C. Воду приготавливайте в пластмассовой кружке. Температуру приготавливаемой воды определяйте с помощью спиртового термометра. С помощью электронного термометра и секундомера определите зависимость температуры данной системы от времени при охлаждении.

Стержень электронного термометра должен быть погружен в воду не менее чем на $\frac{3}{4}$ его длины. При проведении экспериментов учитывайте, что охлаждение данной системы тел на 8 - 10°C будет длиться 15 – 20 минут.

2. Аккуратно поместите стержень в меньшую мензурку. Мензурка должна быть пустой. Наполните мензурку со стержнем до краёв водой при температуре 45 - 50°C. Определите зависимость температуры данной системы от времени при охлаждении. *(Измерения проводите в том же интервале температур, что и в п.1)*

3. На основании данных полученных в п.1 покажите, что для системы «мензурка-вода» выполняется уравнение (2).

4. На основании данных полученных в п.2 покажите, что для системы «мензурка-вода-стержень» так же выполняется уравнение (2).

5. Определите теплоёмкость системы «мензурка-вода».

Здесь вы можете пользоваться справочными данными и проводить измерения других необходимых физических величин. Результаты всех дополнительных измерений укажите в решении.

6. Определите коэффициент теплоотдачи β для исследованных систем тел.

7. Определите теплоёмкость системы «мензурка-вода-стержень».

8. Определите удельную теплоёмкость металлического стержня.

9. Сравните полученный в п. 8 результат со справочными данными. Дайте объяснение полученным результатам.

$$\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$$

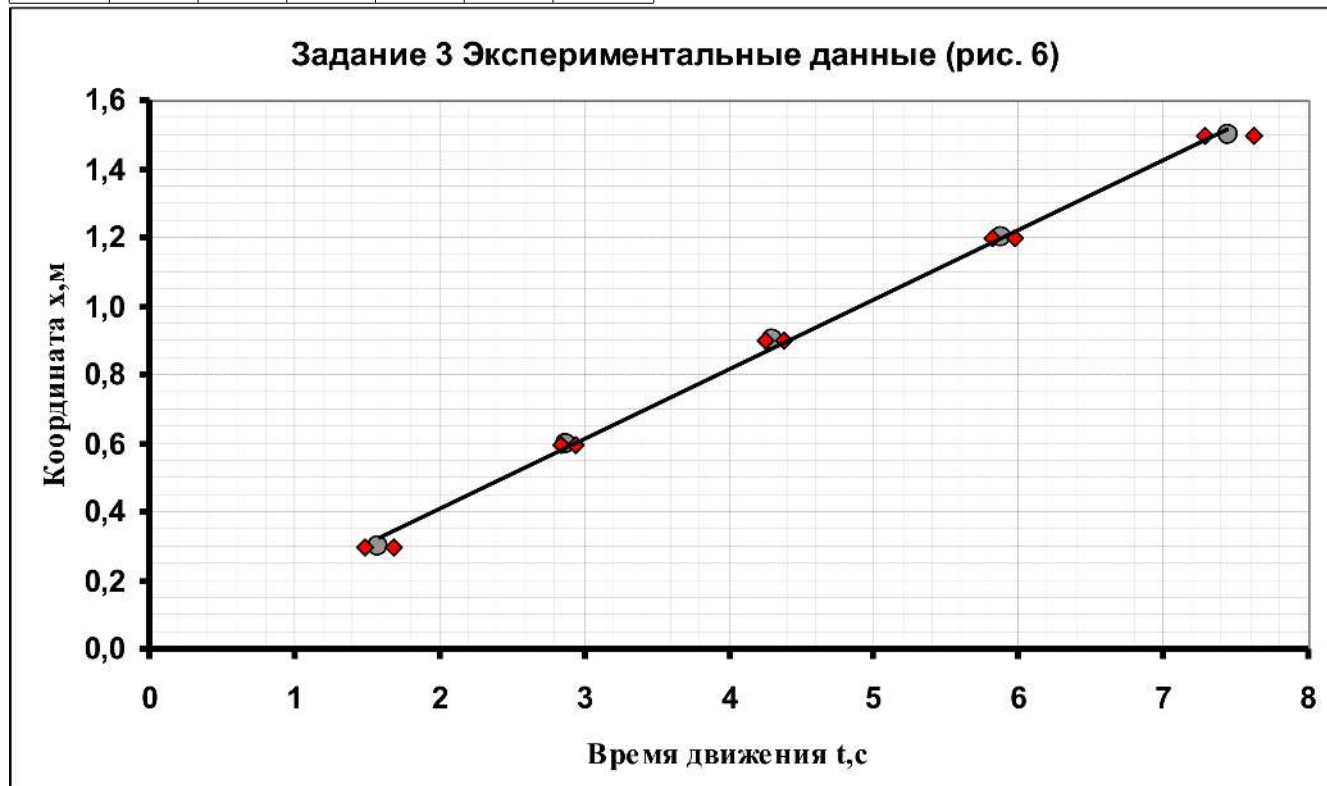
Решение

Задание 3 Замкнутая цепочка.

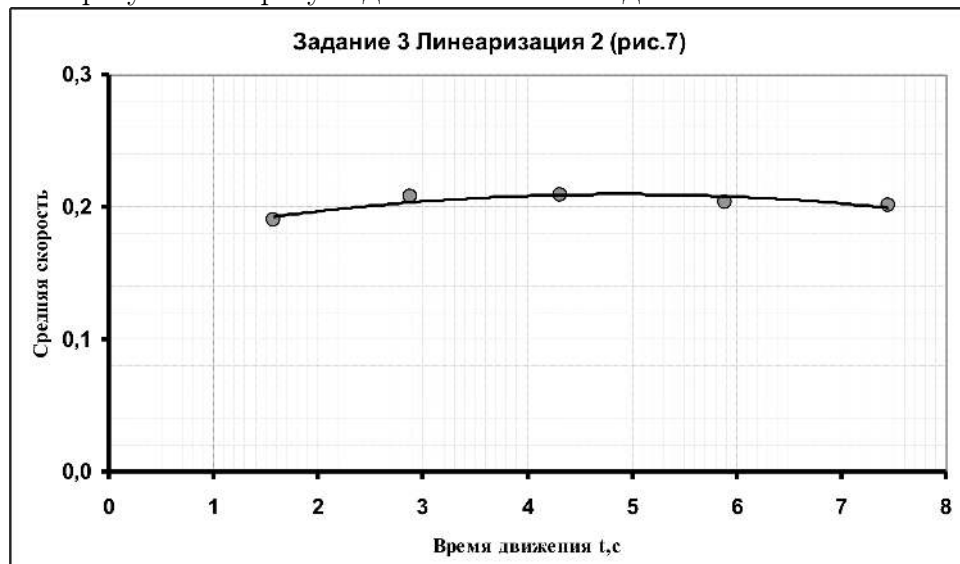
В данной части нить «зациклена», поэтому суммарная масса нити висящей нити остается постоянной, причем с разных сторон блока массы нитей остаются постоянными. Результаты измерений, аналогичных, проведенным в предыдущих частях задания, приведены в Таблице 3 и на графике рис. 6.

Таблица 3.

$X, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$
0,3	1,48	1,74	1,66	1,53	1,48	1,58
0,6	2,85	2,94	2,93	2,81	2,87	2,88
0,9	4,24	4,41	4,35	4,30	4,25	4,31
1,2	5,92	5,86	5,81	5,86	6,02	5,89
1,5	7,75	7,46	7,34	7,23	7,47	7,45



Полученная зависимость очень близка к линейной, что говорит о том, что и в данном случае движение близко к равномерному. Этот же вывод подтверждает и уже традиционная линеаризация. (рис. 7) — средняя скорость остается постоянной. Объяснение подобного неожиданного результата требует дальнейших исследований.



Задача 9-2 Теплоёмкость и теплоотдача

1. и 2. Зависимость температуры системы 1 (мензурка, заполненная водой) и системы 2 (мензурка, с помещённым в неё металлическим стержнем, заполненная водой) от времени при охлаждении.

Время охлаждения системы 1 τ , с	Время охлаждения системы 2 τ , с	Температура систем 1 и 2 t , °C	Система 1 $\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}}$, °C/с	Система 2 $\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}}$, °C/с	Разность температур между системой тел и окружающей средой $\Delta t_{\text{сист ср}}$, °C
0	0	44,0	0,0105	0,0115	24,8
95,0	87,0	43,0	0,0102	0,0108	23,8
193	180	42,0	0,0097	0,0100	22,8
296	280	41,0	0,0094	0,0103	21,8
402	377	40,0	0,00917	0,00971	20,8
511	480	39,0	0,00893	0,00909	20,1
567	535	38,5	0,00833	0,00926	19,6
627	589	38,0	0,00862	0,00833	19,1
685	649	37,5	0,00862	0,00862	18,6
743	707	37,0	0,00794	0,00833	18,1
806	767	36,5	0,00806	0,00806	17,6
868	829	36,0			

3. и 4. Приравнивая правые части (1) и (2) получим:

$$\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{\beta}{C} \Delta t_{\text{сист ср}} \quad (3).$$

$$\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{\beta}{C} \Delta t_{\text{сист ср}} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta t_{\text{сист ср}}}{\Delta \tau_{21} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)},$$

То есть $\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}}$ прямо пропорциональна $\Delta t_{\text{сист ср}}$. Построив график зависимости $\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} (\Delta t_{\text{сист ср}})$, определим интервалы температур, в которых мощность теплоотдачи систем тел при охлаждении прямо пропорциональна разности температур систем тел и температуры окружающей среды. Разность температур систем тел и окружающей среды (воздуха) определим как

$$\Delta t_{\text{сист ср}} = \frac{t_2 + t_1}{2} - t_{\text{ср}} \quad (4).$$

$$\Delta t_{\text{сист ср}} = \frac{t_2 + t_1}{2} - t_{\text{ср}} \quad (4)$$

Отношение $\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}}$ определим

$$\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{t_1 - t_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (5).$$

$$\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} = \frac{t_1 - t_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (5)$$

Температура окружающего воздуха во время эксперимента .

$$\Delta t_{\text{сист ср}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$$

Для удобства вычислений построим графики зависимости $\Delta t_{\text{сист ср}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для обеих систем.

График 1. Зависимость $\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для системы 1.

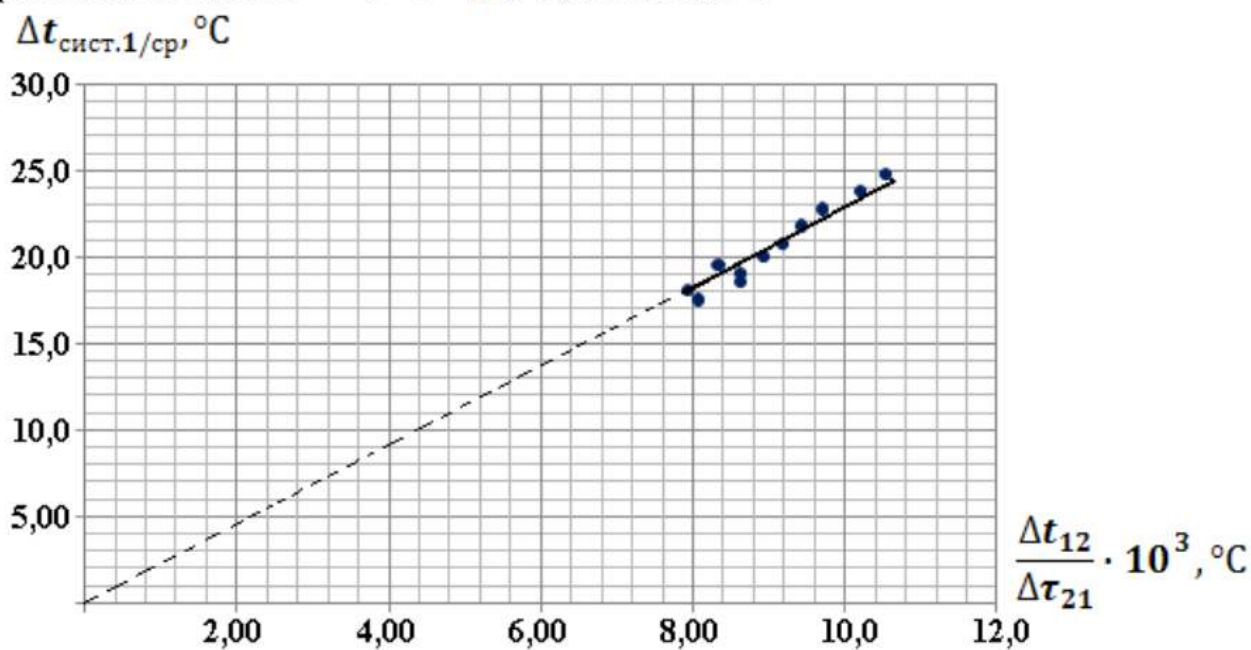


График 1. Зависимость $\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для системы 1.

График 2. Зависимость $\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для системы 2.

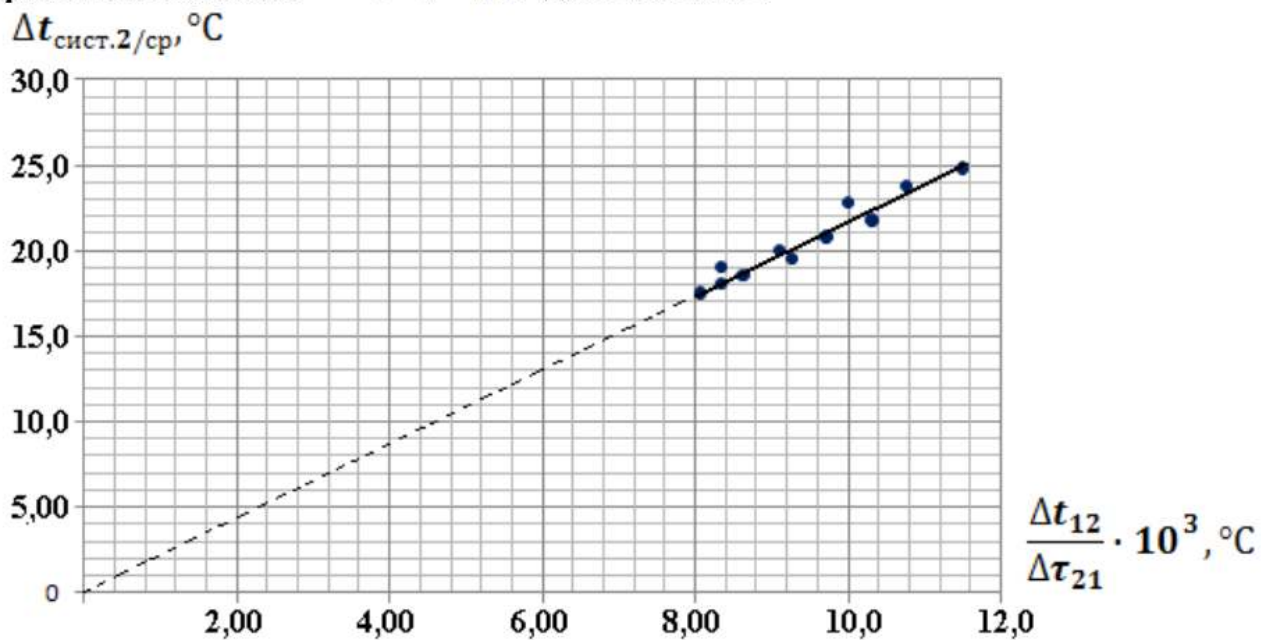


График 2. Зависимость $\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для системы 2.

$$\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$$

Графики подтверждают, что зависимость $\frac{\Delta t_{\text{сист}}}{\Delta \tau_{21}} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right)$ для обеих систем прямо пропорциональная, следовательно, для обеих систем выполняется уравнение (2).

5. Для определения теплоёмкости системы 1. необходимо определить массу воды в мензурке и массу мензурки. Массу мензурки определяем взвешиванием на весах: Массу воды определим через произведение объёма на плотность. Объём воды определим с помощью большей мензурки:

$$V_{B1} = (160 \pm 1) \text{ см}^3.$$

$$m_{B1} = V_{B1} \cdot \rho_B = 160 \text{ см}^3 \cdot 0,992 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 159 \text{ г}.$$

$$V_{B1} = (160 \pm 1) \text{ см}^3. \quad m_{B1} = V_{B1} \cdot \rho_B = 160 \text{ см}^3 \cdot 0,992 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 159 \text{ г}.$$

Теплоёмкость системы 1 найдём как сумму теплоёмкости мензурки и содержащейся в ней воды:

$$C_1 = 840 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,0722 \text{ кг} + 4170 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,159 \text{ кг} = 724 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$$

$$C_1 = 840 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,0722 \text{ кг} + 4170 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,159 \text{ кг} = 724 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}.$$

6. Приведём уравнение (3) к виду:

$$\Delta t_{\text{сист}} = \frac{C}{\beta} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right) \quad (7).$$

$$\Delta t_{\text{сист}} = \frac{C}{\beta} \left(\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \right). \quad (7)$$

$$\frac{C_1}{\beta} = k_1$$

Тогда $\frac{C_1}{\beta} = k_1$ – тангенс угла наклона графика 1 к горизонтальной оси. Из графика находим, что $k_1 = 2280 \text{ с}$. Единица измерения коэффициента $\frac{C}{\beta}$ – секунда. Данный коэффициент равен характерному времени, за которое система охлаждается до температуры окружающей среды.

$$\beta = \frac{C_1}{k_1} = \frac{724 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}}{2280 \text{ с}} = 0,318 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (8).$$

$$\beta = \frac{C_1}{k_1} = \frac{724 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}}{2280 \text{ с}} = 0,318 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}}. \quad (8)$$

7. Для определения теплоёмкости системы 2 определим тангенс угла наклона графика 2 к горизонтальной оси (k_2). $k_2 = 2180 \text{ с}$. Теплоёмкость системы 2 определим как

$$C_2 = \beta \cdot k_2 = 0,318 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2180 \text{ с} = 693 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}} \quad (9).$$

$$C_2 = \beta \cdot k_2 = 0,318 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2180 \text{ с} = 693 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}. \quad (9)$$

8. Найдём теплоёмкость воды, находившейся в системе 2. Объём воды в системе 2 будет меньше чем в системе 1 на объём металлического стержня. Объём стержня находим с помощью большей мензурки: Тогда

$$m_{B2} = V_{B2} \cdot \rho_B = 144 \text{ см}^3 \cdot 0,992 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 143 \text{ г} \quad (11)$$

$$m_{в2} = V_{в2} \cdot \rho_{в} = 144 \text{см}^3 \cdot 0,992 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 143 \text{г}. \quad (11)$$

Теплоёмкость стержня найдём как: Удельную теплоёмкость определим как: Массу стержня определим взвешиванием Удельная теплоёмкость металлического стержня: 9. Сравнивая полученное значение удельной теплоёмкости металлического стержня со справочными данными можно утверждать, что стержень изготовлен из сплава алюминия. То, что стержень изготовлен из сплавов алюминия, можно дополнительно убедиться, определив его плотность. Несоответствие результата интервалу справочных значений можно объяснить следующими факторами: – погрешностью измерений, которые, к радости для участников олимпиады, здесь не вычислялись. – пренебрежением теплоёмкостью термометра, и то, что при вычислениях не учитывалась масса вытесняемой им воды. – не учитывалось то, что температура стеклянного стакана мензурки, при охлаждении систем, не будет равна температуре воды, которую показывает термометр. – возможно в справочных материалах, из которых авторы задачи брали информацию об удельных теплоёмкостях металлов, не было значения удельной теплоёмкости того сплава, из которого сделан стержень, предоставленный участникам олимпиады.

$$\frac{\Delta t_{12}}{\Delta \tau_{21}} \cdot \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{с}}$$