

1. Охлаждение малыми порциями

Условие

Задача 9_1. Охлаждение малыми порциями

В данной задаче Вам предстоит исследовать зависимость температуры тёплой воды от количества добавленных в неё порций холодной воды.

Оборудование. Для каждого учащегося: калориметр с крышкой и мешалкой (без спирального нагревателя), термометр электронный, шприц (60мл), кружка с водой комнатной температуры (воды 0,5л). **На кабинет:** шприц (60мл или 100мл, 3 – 4шт, для набора тёплой воды), ёмкость с тёплой водой (температура $55 - 60^{\circ}\text{C}$, объём воды – 0,5л на одного учащегося), термометр электронный (1шт, для контроля температуры тёплой воды), весы электронные (2 шт. с отсчётом до 0,1г), часы настенные с секундной стрелкой или электронные с секундным отсчётом. **Справочные данные:** плотность воды $\rho_{\text{в}} = 1,00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, удельная теплоёмкость воды $c_{\text{в}} = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. **Подсказки.** 1) Теплоёмкость тела можно определить как произведение массы тела на его удельную теплоёмкость. 2) Теплоёмкость системы тел равна сумме теплоёмкостей тел, входящих в данную систему.

Часть 1. Теоретическая. Путь к тепловому балансу

Введём обозначения: C_0 – теплоёмкость тёплой воды, C_1 – теплоёмкость одной порции холодной воды, $C_{\text{к}}$ – теплоёмкость внутреннего стакана калориметра, t_0 – начальная температура тёплой воды, t_1 – температура холодной воды, t_n – температура воды в калориметре после добавления n -ой порции холодной воды, n – количество порций холодной воды, добавленных в тёплую воду. Иные необходимые величины введите и опишите самостоятельно.

Внимание. Теплоёмкостью внутреннего стакана калориметра пренебрегать нельзя. Теплоёмкостью других частей калориметра, термометра, тепловыми потерями пренебречь.*

В ходе эксперимента вам необходимо будет набрать в калориметр некоторый объём тёплой воды, а затем одинаковыми порциями добавлять в неё холодную воду и определять температуру смеси после добавления каждой порции холодной воды.

1.1 Укажите какие тела при описанном выше теплообмене отдают, а какие тела получают теплоту. **1.2** Составьте уравнение теплового баланса для описанного теплообмена, используя указанные выше обозначения. *Подсказка:* если потери тепла пренебрежимо малы, то установившаяся температура* t_n не зависит от того, добавили n порций холодной воды сразу или добавляли по одной порции.

1.3 Получите уравнение зависимости $t_n(n)$ температуры воды в калориметре t_n от количества добавленных в неё порций холодной воды n .

Часть 2. Экспериментальная. Тепло vs холод

2.1 Измерьте температуру воздуха $t_{\text{возд}}$ и холодной воды t_1 .

Рекомендации. Во внутренний стакан калориметра помещается 190мл воды. Рекомендуется набирать 80мл тёплой воды. Продумайте: какой будет у вас объём порций холодной воды.*

2.2 Укажите выбранный вами объём одной порции холодной воды V_1 .

Рекомендации. Заготовьте сразу таблицу для зависимости, указанной в п.2.3. Для уменьшения теплопотерь калориметр постоянно должен быть накрыт прозрачной крышкой. Вставьте в калориметр термометр, включите его. Тёплую воду набирайте шприцем, который находится на столе у организаторов олимпиады (ваш шприц для холодной воды) и вливайте её в калориметр через отверстие, которое закрывается синенькой крышкой. После того как набрали тёплую воду сразу закройте это отверстие. Возвратившись на рабочее место, сразу приступайте к выполнению эксперимента. По одной порции добавляйте холодную воду.

Два – три раза перемешайте воду мешалочкой. Следите за показаниями термометра, если показания 5 – 6 секунд не изменяются, то записывайте значение температуры в таблицу. Этот интервал времени отсчитывайте мысленно. Холодную воду заливайте через отверстие, в которое вливали тёплую воду. Не забывайте закрывать это отверстие крышкой. При достаточной расторопности эксперимент можно провести за 5 – 6 минут

2.3 Укажите набранный вами объём тёплой воды V_0 . Исследуйте зависимость $t_n(n)$ экспериментально. Результаты представьте таблично и графически.

2.4 Линеаризируйте уравнение, полученное вами в п.1.3. Подсказка: от обеих частей уравнения, полученного в п.1.3, нужно отнять t_1 и выполнить некоторые преобразования. Укажите какие величины в полученном вами линеаризованном уравнении будут аналогичны величинам y , b , a , x в линейном уравнении

$$y = b + ax. \quad (1)$$



2.5 Постройте график линеаризованной зависимости $t_n(n)$.

2.6 На основе результатов эксперимента определите температуру t_0 тёплой воды, перед добавлением первой порции холодной воды. Вычислите погрешности.

2.7 Выразите теплоёмкость внутреннего стакана калориметра C_k через теплоёмкость одной порции холодной воды C_1 . Вычислите теплоёмкость C_k . Определите с помощью весов массу внутреннего стакана калориметра m_k . Определите удельную теплоёмкость металла, из которого изготовлен внутренний стакан калориметра. Погрешности в этом пункте вычислять не нужно.

2.8 Какой оказалась бы температура воды в калориметре, если бы в него можно было добавить 20,0 порций холодной воды, при условии, что объём тёплой воды был бы такой же как в вашем эксперименте? Погрешности вычислять не нужно.

Часть 3. Оценка тепловых потерь

Хотя в части 1 было указано тепловыми потерями пренебречь, но всё же тепловые потери происходят.

3.1 С какого момента в вашем эксперименте нужно учитывать тепловые потери?

3.2 Предложите способ и выполните оценку доли k тепловых потерь в вашем эксперименте. Если необходимо, то проведите нужный для этого эксперимент.

Решение

Задача 9 _1. Охлаждение малыми порциями

В данной задаче Вам предстоит исследовать зависимость температуры тёплой воды от количества добавленных в неё порций холодной воды.

Оборудование. Для каждого учащегося: калориметр с крышкой и мешалкой (без спирального нагревателя), термометр электронный, шприц (60мл), кружка с водой комнатной температуры (воды 0,5л). **На кабинет:** шприц (60мл или 100мл, 3 – 4шт, для набора тёплой воды), ёмкость с тёплой водой (температура 55 – 60°C, объём воды – 0,5л на одного учащегося), термометр электронный (1шт, для контроля температуры тёплой воды), весы электронные (2 шт. с отсчётом до 0,1г), часы настенные с секундной стрелкой или электронные с секундным отсчётом. **Справочные данные:** плотность воды $\rho_v = 1,00 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$, удельная теплоёмкость воды $c_v = 4,18 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. **Подсказки.** 1) Теплоёмкость тела можно определить как произведение массы тела на его удельную теплоёмкость. 2) Теплоёмкость системы тел равна сумме теплоёмкостей тел, входящих в данную систему.

Часть 1. Теоретическая. Путь к тепловому балансу

Введём обозначения: C_0 – теплоёмкость тёплой воды, C_1 – теплоёмкость одной порции холодной воды, C_k – теплоёмкость внутреннего стакана калориметра, t_0 – начальная температура тёплой воды, t_1 – температура холодной воды, t_n – температура воды в калориметре после добавления n -ой порции холодной воды, n – количество порций холодной воды, добавленных в тёплую воду. Иные необходимые величины введите и опишите самостоятельно.

Внимание. Теплоёмкостью внутреннего стакана калориметра пренебрегать нельзя. Теплоёмкостью других частей калориметра, термометра, тепловыми потерями пренебречь.*

В ходе эксперимента вам необходимо будет набрать в калориметр некоторый объём тёплой воды, а затем одинаковыми порциями добавлять в неё холодную воду и определять температуру смеси после добавления каждой порции холодной воды.

1.1 Укажите какие тела при описанном выше теплообмене отдают, а какие тела получают теплоту. **1.2** Составьте уравнение теплового баланса для описанного теплообмена, используя указанные выше обозначения. *Подсказка:* если потери тепла пренебрежимо малы, то установившаяся температура* t_n не зависит от того, добавили n порций холодной воды сразу или добавляли по одной порции.

1.3 Получите уравнение зависимости $t_n(n)$ температуры воды в калориметре t_n от количества добавленных в неё порций холодной воды n .

Часть 2. Экспериментальная. Тепло vs холод

2.1 Измерьте температуру воздуха $t_{\text{возд}}$ и холодной воды t_1 .

Рекомендации. Во внутренний стакан калориметра вмещается 190мл воды. Рекомендуется набирать 80мл тёплой воды. Продумайте: какой будет у вас объём порций холодной воды.*

2.2 Укажите выбранный вами объём одной порции холодной воды V_1 .

Рекомендации. Заготовьте сразу таблицу для зависимости, указанной в п.2.3. Для уменьшения теплотерь калориметр постоянно должен быть накрыт прозрачной крышкой. Вставьте в калориметр термометр, включите его. Тёплую воду набирайте шприцем, который находится на столе у организаторов олимпиады (ваш шприц для холодной воды) и вливайте её в калориметр через отверстие, которое закрывается синенькой крышкой. После того как набрали тёплую воду сразу закройте это отверстие. Возвратившись на рабочее место, сразу приступайте к выполнению эксперимента. По одной порции добавляйте холодную воду.

Два – три раза перемешайте воду мешалочкой. Следите за показаниями термометра, если показания 5 – 6 секунд не изменяются, то записывайте значение температуры в таблицу. Этот интервал времени отсчитывайте мысленно. Холодную воду заливайте через отверстие, в которое вливали тёплую воду. Не забывайте закрывать это отверстие крышкой. При достаточной расторопности эксперимент можно провести за 5 – 6 минут

2.3 Укажите набранный вами объём тёплой воды V_0 . Исследуйте зависимость $t_n(n)$ экспериментально. Результаты представьте таблично и графически.

2.4 Линеаризируйте уравнение, полученное вами в п.1.3. *Подсказка:* от обеих частей уравнения, полученного в п.1.3, нужно отнять* t_1 и выполнить некоторые преобразования. Укажите какие величины в полученном вами линеаризованном уравнении будут аналогичны величинам y , b , a , x в линейном уравнении*

$$y = b + ax. \quad (1)$$

2.5 Постройте график линеаризованной зависимости $t_n(n)$.

2.6 На основе результатов эксперимента определите температуру t_0 тёплой воды, перед добавлением первой порции холодной воды. Вычислите погрешности.

2.7 Выразите теплоёмкость внутреннего стакана калориметра C_k через теплоёмкость одной порции холодной воды C_1 . Вычислите теплоёмкость C_k . Определите с помощью весов массу



внутреннего стакана калориметра m_k . Определите удельную теплоёмкость металла, из которого изготовлен внутренний стакан калориметра. Погрешности в этом пункте вычислять не нужно.

2.8 Какой оказалась бы температура воды в калориметре, если бы в него можно было добавить 20,0 порций холодной воды, при условии, что объём тёплой воды был бы такой же как в вашем эксперименте? Погрешности вычислять не нужно.

Часть 3. Оценка тепловых потерь

Хотя в части 1 было указано тепловыми потерями пренебречь, но всё же тепловые потери происходят.

3.1 С какого момента в вашем эксперименте нужно учитывать тепловые потери?

3.2 Предложите способ и выполните оценку доли k тепловых потерь в вашем эксперименте. Если необходимо, то проведите нужный для этого эксперимент.

Задача 9 _ 1. Охлаждение малыми порциями (решение)

Часть 1. Теоретическая. Путь к тепловому балансу

1.1

После добавления в калориметр тёплой воды, внутренний стакан очень быстро нагревается и в дальнейшем теплообмене с холодной водой он отдаёт теплоту. Отдаёт теплоту конечно же и сама тёплая вода. Получает теплоту порция холодной воды.

Не обязательное дополнение. Нагреваться и отдавать теплоту будут так же мешалочка и стержень термометра, теплоёмкости которых мы не учитываем. Теплоёмкости этих тел фактически войдут в теплоёмкость внутреннего стакана калориметра.

1.2

$$Q_{\text{пол}} = |Q_{\text{отд}}|. \quad (2)$$

Так как установившаяся температура воды в калориметре не зависит от того, добавили n порций холодной воды сразу или добавляли по одной порции, то

$$Q_{\text{пол}} = nC_1(t_n - t_1), \quad (3)$$

$$|Q_{\text{отд}}| = (C_0 + C_k)(t_0 - t_n). \quad (4)$$

Приравнивая правые части (3) и (4), получаем:

$$nC_1(t_n - t_1) = (C_0 + C_k)(t_0 - t_n). \quad (5)$$

1.3

Раскрывая в (5) скобки, и после других несложных преобразований получим:

$$t_n = \frac{(C_0 + C_k)t_0 + nC_1t_1}{C_0 + C_k + nC_1}. \quad (6)$$

Часть 2. Эксперимент. Тепло vs холод

2.1 $t_{\text{возд}} = (21,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$, $t_1 = (21,6 \pm 0,1)^\circ\text{C}$.

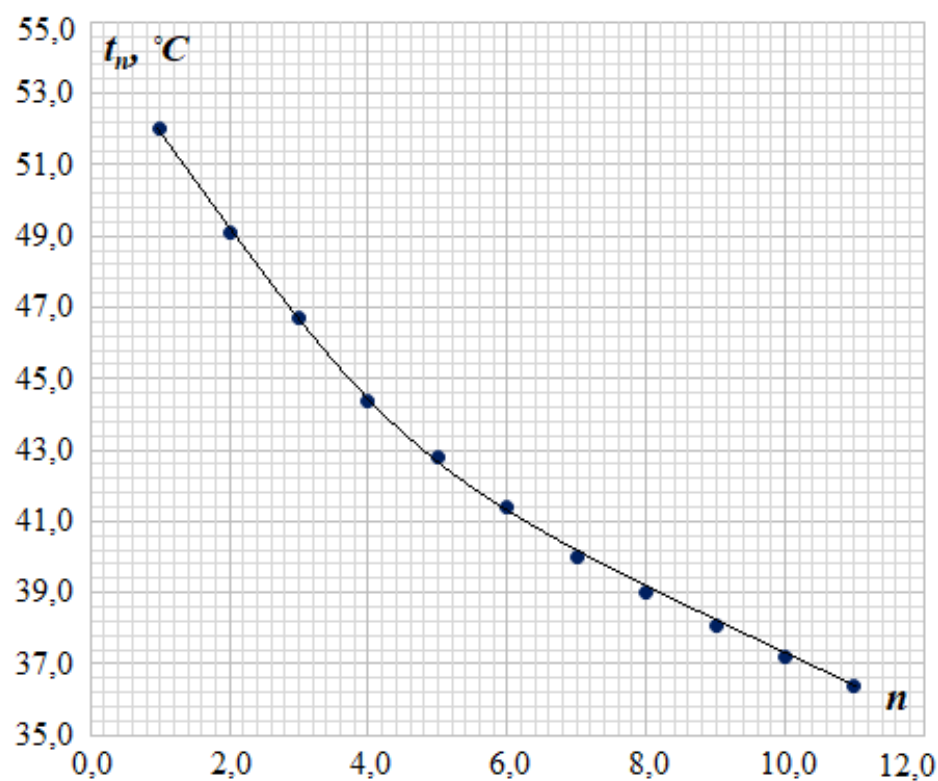
2.2 $V_1 = (10,0 \pm 0,5)\text{мл}$.

2.3 $V_0 = (80 \pm 1)\text{мл}$.

Таблица 1. *Зависимость $t_n(n)$ *

n	$t_n, ^\circ\text{C}$
1,0	52,0
2,0	49,1
3,0	46,7
4,0	44,4
5,0	42,8
6,0	41,4
7,0	40,0
8,0	39,0
9,0	38,1
10,0	37,2
11,0	36,4

График 1. *Зависимость $t_n(n)$ *



2.4 Отнимем от обеих частей уравнения (6) t_1 , получим:

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_k)t_0 + nC_1t_1}{C_0 + C_k + nC_1} - t_1, \quad (7)$$

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_k)t_0 + nC_1t_1 - (C_0 + C_k)t_1 - nC_1t_1}{C_0 + C_k + nC_1}, \quad (8)$$

$$t_n - t_1 = \frac{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)}{C_0 + C_k + nC_1}, \quad (9)$$

Перейдём в уравнении (9) к обратным величинам, получим:

$$\frac{1}{t_n - t_1} = \frac{(C_0 + C_k) + nC_1}{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)}, \quad (10)$$

$$\frac{1}{t_n - t_1} = \frac{1}{t_0 - t_1} + \frac{C_1}{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)}n. \quad (11)$$

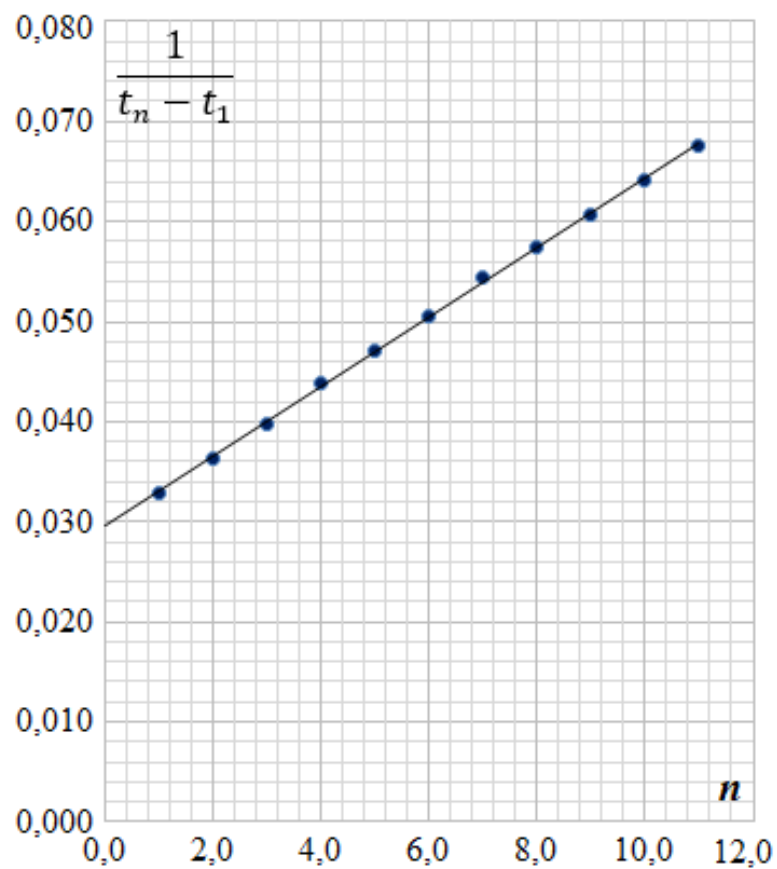
Сравнивая (11) с уравнением (1), видим, что

$$\frac{1}{t_n - t_1} \rightarrow y, \quad \frac{1}{t_0 - t_1} \rightarrow b, \quad \frac{C_1}{(C_0 + C_k)(t_0 - t_1)} \rightarrow a, \quad n \rightarrow x. \quad (12)$$

2.5

Вычислим значение $\frac{1}{t_n - t_1}$.

Таблица 2. Зависимость $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$



	n	$\frac{1}{t_n - t_1}, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
	1,0	0,0329
	2,0	0,0364
	3,0	0,0398
	4,0	0,0439
	5,0	0,0472
	6,0	0,0505
	7,0	0,0543
	8,0	0,0575
	9,0	0,0606
	10,0	0,0641
	11,0	0,0676
сред.	6,0	0,0504
дисп.	10,0	0,000120
ковар.		0,0346
N	$\langle a \rangle, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\langle b \rangle, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
11	0,00346	0,0296
	$\Delta a, \frac{1}{^\circ\text{C}}$	$\Delta b, \frac{1}{^\circ\text{C}}$
	0,00005	0,0003
коррел.	0,9998	

График 2. Зависимость $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$

2.6

Используя МНК (можно использовать ПГО), определим свободное слагаемое и угловой коэффициент наклона усредняющей прямой в зависимости $\frac{1}{t_n - t_1}(n)$. Вычислим абсолютные погрешности этих величин (табл. 2).

Перед добавлением первой порции холодной воды $n = 0$. Используя соотношения (12), запишем:

$$\frac{1}{t_0 - t_1} = b. \quad (13)$$

Из (13) получим:

$$\langle t_0 \rangle = \frac{1}{\langle b \rangle} + \langle t_1 \rangle = \frac{1}{0,0296 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}} + 21,6 \text{ } ^\circ\text{C} = 55,4 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (14)$$

$$\varepsilon_{\frac{1}{b}} = \varepsilon_b = \frac{\Delta b}{\langle b \rangle} = \frac{0,0003}{0,0296} = 0,010 = 1,0\%, \quad (15)$$

$$\Delta \left(\frac{1}{b} \right) = \varepsilon_{\frac{1}{b}} \cdot \frac{1}{\langle b \rangle} = 0,010 \cdot \frac{1}{0,0296 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}} = 0,33 \text{ } ^\circ\text{C} = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad (16)$$

$$\Delta t_0 = \Delta \left(\frac{1}{b} \right) + \Delta t_1 = 0,4^\circ\text{C} + 0,1^\circ\text{C} = 0,5^\circ\text{C}, \quad (17)$$

$$\varepsilon_{t_0} = \frac{\Delta \left(\frac{1}{b} \right) + \Delta t_1}{\frac{1}{\langle b \rangle} + \langle t_1 \rangle} = \frac{0,4^\circ\text{C} + 0,1^\circ\text{C}}{55,4^\circ\text{C}} = 0,009 = 0,9\%, \quad (18)$$

$$t_0 = \langle t_0 \rangle \pm \Delta t_0 = (55,4 \pm 0,5)^\circ\text{C}$$

2.7 Используя соотношения (12), запишем:

$$\frac{C_1}{(C_0 + C_{\text{к}})(t_0 - t_1)} = a. \quad (19)$$

Учитывая значения объёмов тёплой и одной порции холодной воды ($V_0 = (80 \pm 1)$ мл, $V_1 = (10,0 \pm 0,5)$ мл), запишем соотношение между их теплоёмкостями:

$$C_0 = 8,0C_1. \quad (20)$$

Подставляя (13) и (20) в (19), получим:

$$\frac{C_1}{(8,0C_1 + C_{\text{к}})} b = a, \quad (21)$$

отсюда

$$C_{\text{к}} = \frac{b}{a} \left(1 - 8,0 \frac{a}{b} \right) C_1. \quad (22)$$

Вычислим значение числового коэффициента в (22), получим:

$$C_{\text{к}} = \frac{0,0296 \frac{1}{^\circ\text{C}}}{0,00346 \frac{1}{^\circ\text{C}}} \left(1 - 8,0 \frac{0,00346 \frac{1}{^\circ\text{C}}}{0,0296 \frac{1}{^\circ\text{C}}} \right) C_1 = 0,55C_1. \quad (23)$$

Вычислим теплоёмкость одной порции холодной воды:

$$C_1 = \rho_{\text{в}} V_1 c_{\text{в}} = 1,00 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10,0 \cdot 10^{-6} \text{м}^3 \cdot 4180 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = 41,8 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}. \quad (24)$$

Теплоёмкость внутреннего стакана калориметра

$$C_{\text{к}} = 0,55C_1 = 0,55 \cdot 41,8 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}} = 23 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$$

Определим с помощью весов массу внутреннего стакана калориметра

$$m_{\kappa} = (64,4 \pm 0,1)\text{г}.$$

Определим удельную теплоёмкость металла, из которого изготовлен внутренний стакан калориметра

$$c_{\kappa} = \frac{C_{\kappa}}{m_{\kappa}} = \frac{23 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}}{0,0644\text{кг}} = 0,36 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}. \quad (25)$$

2.8

Используя (11) и (12), запишем:

$$\frac{1}{t_n - t_1} = b + an. \quad (26)$$

Из (26) получим:

$$t_n = \frac{1}{b + an} + t_1, \quad (27)$$

при $n = 20,0$

$$t_{20} = \frac{1}{0,0296^{\circ}\text{C}^{-1} + 0,00346^{\circ}\text{C}^{-1} \cdot 20,0} + 21,6^{\circ}\text{C} = 31,7^{\circ}\text{C}.$$

Часть 3. Оценка тепловых потерь

3.1

Тепловые потери необходимо учитывать после добавления первой порции холодной воды.

3.2 Авторы задачи предлагают способ, основанный на определении значений температуры и соответствующих им моментов времени при самопроизвольном остывания воды в калориметре. Так как тепловые потери необходимо учитывать после добавления первой порции холодной воды, то наберём в калориметр 90мл тёплой воды и начнём фиксировать температурные и временные интервалы с того момента, когда температура воды станет равной $(52,0 \pm 0,1)^{\circ}\text{C}$ (такая температура воды установилась в калориметре после добавления первой порции холодной воды). В этом эксперименте нам достаточно фиксировать температуру на минутных интервалах, поэтому время можем определять по настенным часам с секундной стрелкой.

Таблица 3.	
<i>Результаты по самопроизвольному остыванию воды</i>	
τ , мин	t , °C
0	52,0
1,0	51,5
2,0	51,0
3,0	50,6
4,0	50,2
5,0	49,9
6,0	49,6

Из таблицы 2 видим, что за 6,0 минут (это время, за которое авторы задачи провели эксперимент в п. 2.3) вода в калориметре самопроизвольно охладилась на $\Delta t = 2,4^\circ\text{C}$. Обозначим значение температуры воды в калориметре после добавления первой порции холодной воды $t_{1к} = 52,0^\circ\text{C}$ (так как обозначение $t_1 = 21,6^\circ\text{C}$ значение температуры холодной воды уже «занято»). Тогда верхнюю границу доли тепловых потерь можно оценить как

$$k_{\text{в}} = \frac{\Delta t}{t_{1к} - t_1} = \frac{2,4^\circ\text{C}}{52,0^\circ\text{C} - 21,6^\circ\text{C}} = 0,079 = 7,9\%. \quad (28)$$

Не обязательное дополнение. Долю потерь можно уточнить, если учесть, что мощность теплопотерь пропорциональна разности температур воды в калориметре и окружающего воздуха. Усредним по времени температуру воды в калориметре в ходе экспериментов в п. 2.3 и п.3.2, получим:

$$\langle t_{n2.3} \rangle = 43,7^\circ\text{C}; \quad \langle t_{n3.2} \rangle = 50,9^\circ\text{C}.$$

Разность данных температур с температурой окружающего воздуха ($t_{\text{возд}} = (21,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$):

$$\Delta t_{n2.3} = 21,8^\circ\text{C}; \quad \Delta t_{n3.2} = 29,0^\circ\text{C}.$$

Тогда уточнённое значение доли потерь

$$k_{\text{у}} = k_{\text{в}} \frac{\Delta t_{n2.3}}{\Delta t_{n3.2}} = 7,9\% \frac{21,8^\circ\text{C}}{29,0^\circ\text{C}} = 5,9\%.$$

Если учесть, что в ходе эксперимента в п. 2.3 увеличивался объём воды в калориметре, что вело к уменьшению площади внутренней поверхности стакана калориметра, с которой так же происходили теплопотери, то значение доли теплопотерь ещё несколько уменьшится.

Второй способ оценки коэффициента тепловых потерь. Этот способ даёт значительно заниженное значение доли тепловых потерь, из-за того, что невозможно учесть всю теплоту, которую забирает калориметр от теплой воды, а затем отдаёт её холодной.

Используя имеющиеся экспериментальные данные, вычислим температуру, которая должна установиться после добавления в калориметр 10-й порции холодной воды. Составим уравнение теплового баланса. Отданную и полученную теплоту запишем как:

$$|Q_{\text{отд}}| = (C_{\text{к}} + 9C_1)(t_{1\text{к}} - t_{x10}), \quad (29)$$

$$Q_{\text{пол}} = 9C_1(t_{x10} - t_1), \quad (30)$$

где t_{x10} — температура, которая должна установиться в калориметре после добавления 10-й порции холодной воды. Приравнявая (29) и (30), получим:

$$(C_{\text{к}} + 9C_1)(t_{1\text{к}} - t_{x10}) = 9C_1(t_{x10} - t_1), \quad (31)$$

откуда

$$t_{x10} = \frac{(C_{\text{к}} + 9C_1)t_{1\text{к}} + 9C_1t_1}{C_{\text{к}} + 18C_1}. \quad (32)$$

После подстановки значений и вычислений получаем $t_{x10} = 37,3^\circ\text{C}$. Расхождение с экспериментально полученным значением ($t_{10} = 37,2^\circ\text{C}$, см. табл. 1) в $0,1^\circ\text{C}$. Такое отличие в значениях температур должно соответствовать доле тепловых потерь в $0,3\%$, что не соответствует действительности. К тому же отличие в температурах $t_{x10} - t_{10} = 0,1^\circ\text{C}$ будет значительно меньше, чем абсолютная погрешность данной величины. Применяя данный способ для оценки доли тепловых потерь, у учащихся может получиться даже отрицательное значение данного коэффициента. Принимая во внимание выше указанное, данный способ считаем не корректным.