

В задаче требуется оценка погрешностей!

Внимание! Будьте аккуратны при работе с паяльником. Все металлические части нагреваются до высокой температуры, поэтому контакт с ними может привести к ожогу. Не касайтесь рабочей частью паяльника оборудования во избежание его порчи. Непосредственный контакт чашки с расплавленным припоем может привести к плавлению чашки. Новая чашка взамен испорченной выдаваться не будет!

Паять следует исключительно на куске оргалита, а неиспользуемый паяльник оставлять только в подставке! После окончания использования паяльника выключите его из сети!

Задание

1. Включите паяльник в сеть и дайте ему разогреться. Наберите в чашку небольшое количество воды и поместите в нее чувствительный элемент термометра. С помощью паяльника расплавьте кусочек припоя так, чтобы получившаяся капля попала в чашку, оторвавшись от паяльника. Снимите зависимость температуры воды от массы упавшего в воду расплавленного припоя. Для увеличения точности результатов старайтесь проводить измерения как можно быстрее, чтобы минимизировать тепловые потери.
2. Достаньте из воды остывшие куски припоя, с помощью паяльника расплавьте их и объедините в одну каплю вместе с оставшимся припоем. Дальнейшие действия проводите с получившимся из капли затвердевшим телом.
Определите удельную теплоемкость припоя. Оцените, можно ли при измерениях пренебречь теплоемкостью чашки? Как это повлияет на погрешность результата?
3. Оцените температуру паяльника и температуру плавления припоя.
4. Рассчитайте удельную теплоту плавления припоя. Считайте, что теплоемкость припоя в жидком и твердом состоянии одинакова.

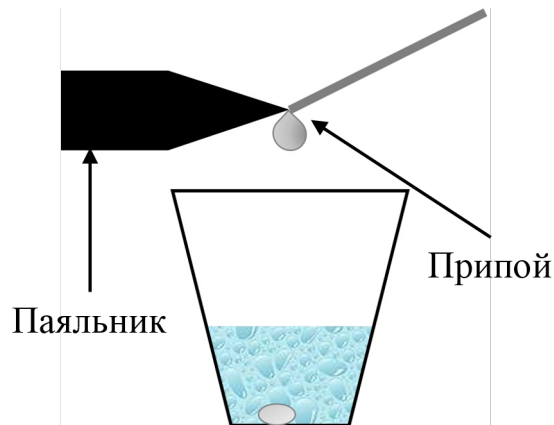


Рис. 1. Схематичное изображение установки

Известные величины: удельная теплоемкость воды $c_v = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, удельная теплоемкость материала чашки $c_{\text{пл}} \approx 200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Оборудование: паяльник с подставкой, отрезок припоя (по требованию может быть выдан дополнительный, но только один!), два термометра без металлического кожуха, две пластиковые чашки, холодная вода, горячая вода (по требованию), электронные весы, нитка (по требованию), кусок оргалита для защиты стола от расплавленного припоя.

Решение

1. Нальем в одну кружку горячую воду, а в другую холодную. Массу холодной воды $m_1 = 34.31$ г возьмем небольшой для того, чтобы фиксировать наибольшее изменение температуры. Измерим массу припоя $m = 6.14$ г. Привяжем к припою нитку. Будем последовательно погружать припой сначала в горячую воду, потом в холодную. Повторим этот опыт несколько раз. Каждый раз будем фиксировать температуру холодной T_x и горячей T_r в процессе, для этого поместим термометры в каждую из чашек и будем помешивать воду в них для установления равномерного распределения температуры. Для любой такой итерации можем записать уравнение теплового баланса:

$$m_1 c_{\text{воды}} \Delta T_x = m c_{\text{припоя}} (T_r - T_x) \quad (1)$$

где $c_{\text{воды}}$ - удельная теплоемкость воды, $c_{\text{припоя}}$ - удельная теплоемкость припоя. Характерное значение удельной теплоемкости пластика $c_{\text{пл}} \approx 200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, ее масса порядка 15 г. Таким образом, ее суммарная теплоемкость составляет порядка 5% от теплоемкости воды. Учтем этот факт погрешности измерений. Просуммировав такие уравнения для каждой итерации получим:

$$m_1 c_{\text{воды}} \sum \Delta T_x = m c_{\text{припоя}} \sum (T_r - T_x) \quad (2)$$

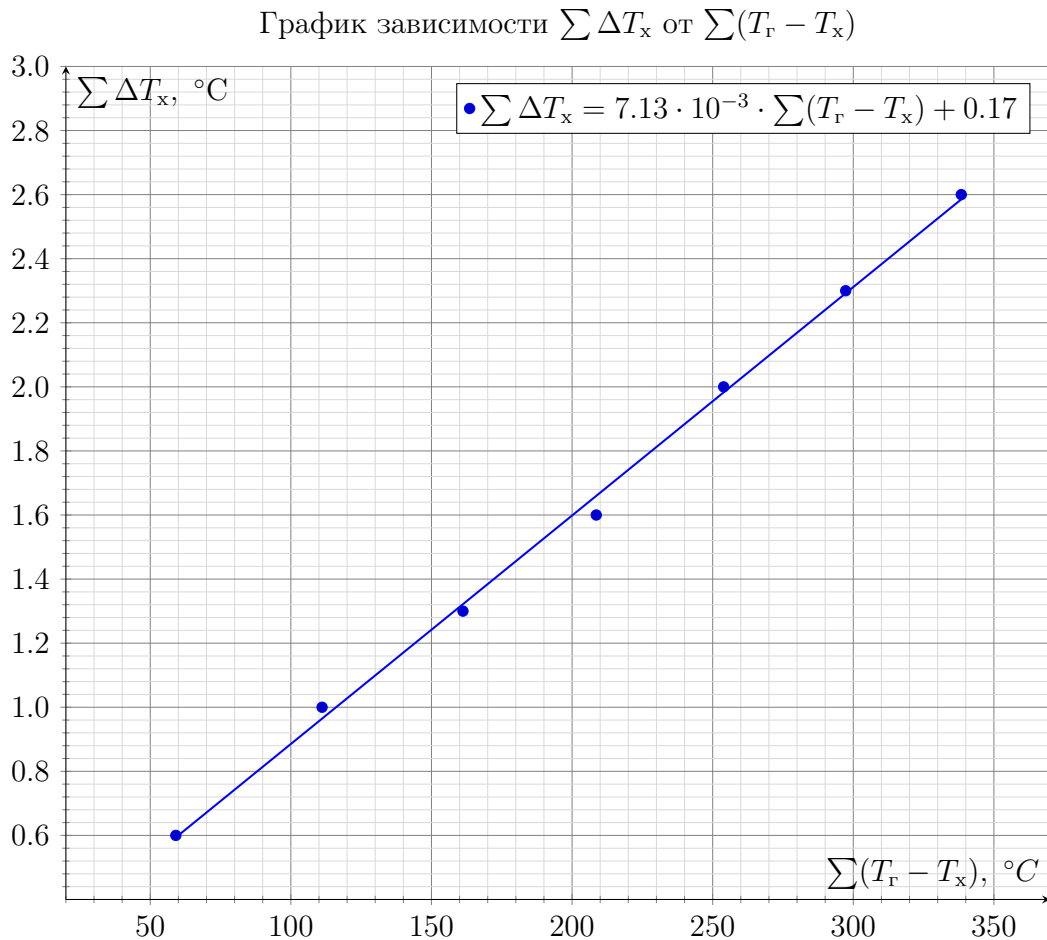
Построим график зависимости $\sum \Delta T_x$ от $\sum (T_r - T_x)$. Его угловой коэффициент составляет:

$$K_1 = \frac{m c_{\text{припоя}}}{m_1 c_{\text{воды}}} = (7.13 \pm 0.05) \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

Откуда удельная теплоемкость припоя:

$$c_{\text{припоя}} = \frac{K_1 m_1 c_{\text{воды}}}{m} = (167 \pm 10) \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \quad (4)$$

N	$T_x, ^\circ\text{C}$	$T_r, ^\circ\text{C}$	$T_r - T_x, ^\circ\text{C}$	$\sum (T_r - T_x), ^\circ\text{C}$	$\sum \Delta T_x, ^\circ\text{C}$
1	19.2	78.3	59.1	59.1	0.6
2	19.6	71.6	52.0	111.1	1.0
3	19.9	70.0	50.1	161.2	1.3
4	20.2	67.6	47.4	208.6	1.6
5	20.6	65.9	45.3	253.9	2.0
6	20.9	64.3	43.4	297.3	2.3
7	21.2	62.3	41.1	338.4	2.6



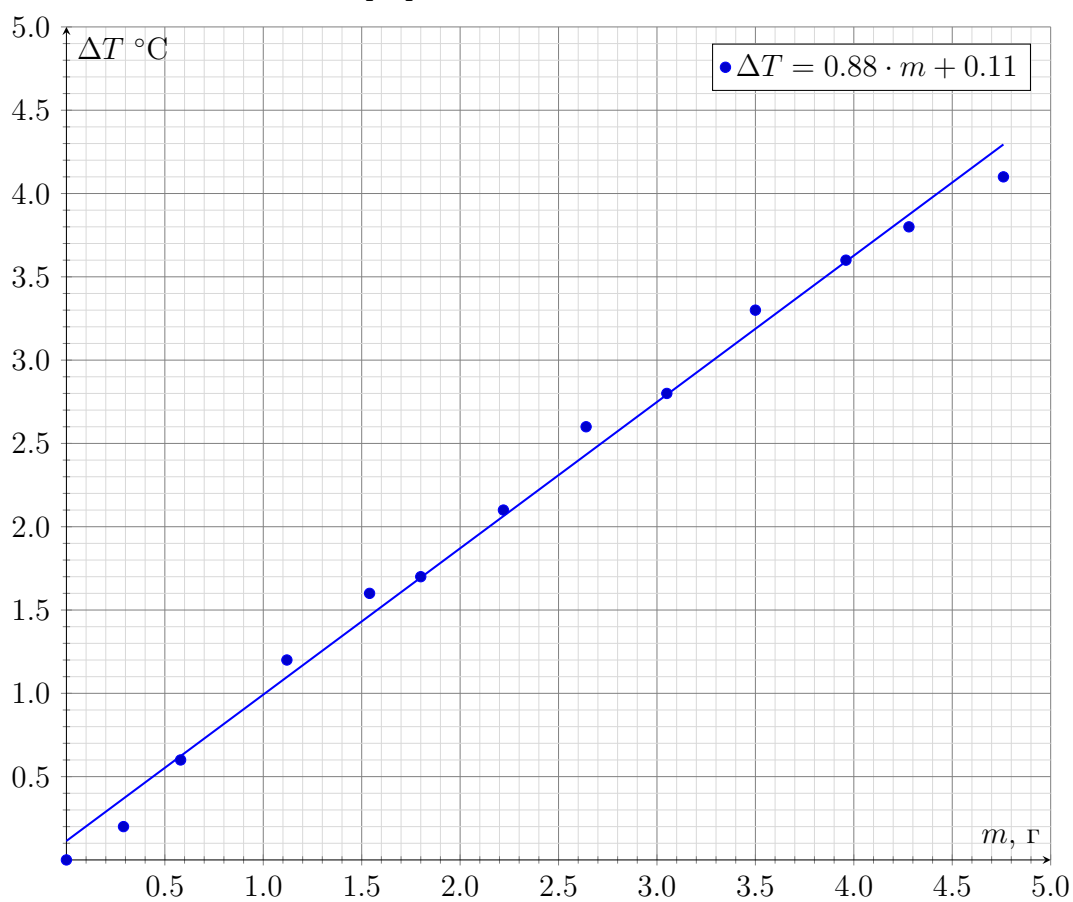
2. Наберем в чашку вторую порцию холодной воды $m_2 = 25.77$ г. при температуре окружающей среды $T_0 = 14,9$ °C. Поставим чашку на весы, опустим в нее чувствительный элемент термометра. Расположим над чашкой припой и будем плавить его паяльником. Расплавленные капли припоя после набора критической массы будут отрываться от паяльника и попадать в чашку, повышая температуру воды в ней. Температуру капель $T_{\text{припоя}}$ при отрыве будем считать равной температуре плавления, так как, в связи с большой мощностью теплопотерь, за время формирования капли она достигает этого значения. Массу попавшего в чашку припоя m будем фиксировать по весам, температуру воды в чашке T будем фиксировать термометром, осуществляя небольшое помешивание воды. Измерим зависимость температуры воды в чашке от массы попавшего в нее разогретого припоя.

Составим уравнение теплового баланса, пренебрежем при этом теплоемкостью чашки и теплоемкостью уже остывшего в чашке припоя. Также будем считать, что теплоемкость припоя при фазовом переходе не меняется.

$$m_2 c_{\text{воды}} \Delta T = m c_{\text{припоя}} (T_{\text{припоя}} - T_0) + m \lambda \quad (5)$$

Где $\Delta T = T_{\text{припоя}} - T_0$

$T, \text{ }^\circ\text{C}$	$m, \text{ г}$	$\Delta T, \text{ }^\circ\text{C}$
14.9	0.00	0.0
15.1	0.29	0.2
15.5	0.58	0.6
16.1	1.12	1.2
16.5	1.54	1.6
16.6	1.80	1.7
17.0	2.22	2.1
17.5	2.64	2.6
17.7	3.05	2.8
18.2	3.50	3.3
18.5	3.96	3.6
18.7	4.28	3.8
19.0	4.76	4.1

График зависимости ΔT от m 

Тогда угловой коэффициент графика изменения температуры воды в чашке от массы попавшего в нее припоя будет составлять:

$$K_2 = \frac{C_{\text{припоя}}(T_{\text{припоя}} - T_0) + \lambda}{m_2 C_{\text{воды}}} = (0.88 \pm 0.20) \frac{^\circ\text{C}}{\text{г}} \quad (6)$$

3. Для измерения температуры паяльника недостаточно просто приложить к нему чувствительный элемент термометра так как в этом случае не будет обеспечен должный тепловой контакт. Поэтому расплавим на оргалите большую каплю припоя и, держа паяльник в ней, опустим чувствительный элемент термометра в каплю. Такая оценка температуры паяльника дает значение: $T_{\text{паяльника}} \approx 250 \text{ }^\circ\text{C}$. Для оценки температуры плавления припоя вынем из капли паяльник и будем наблюдать за охлаждением капли и температурой на термометре. Температура будет уменьшаться и на некоторое время остановится (или существенно замедлится скорость ее изменения) на отметке: $T_{\text{плавления}} \approx 170 \text{ }^\circ\text{C}$. Этот эффект можно объяснить выделением дополнительного тепла в капле при ее отвердевании. Соответственно, измеренная таким образом температура и будет оценкой температуры затвердевания/плавления припоя.
4. Для определения теплоты плавления припоя воспользуемся угловым коэффициентом графика, построенным в упражнении 2. Произведение этого коэффициента на теплоемкость порции воды в чашке даст суммарную теплоту, отдаваемую единицей массы припоя воде. Эта теплота складывается из двух компонент: теплоты плавления/отвердевания и теплоты, связанной с изменением температуры припоя:

$$C_{\text{припоя}}(T_{\text{припоя}} - T_0) + \lambda = K_2 m_2 C_{\text{воды}} = (95 \pm 10) \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (7)$$

Температура воды в процессе нагрева меняется незначительно по сравнению с разницей температур между температурой припоя и воды. Таким образом, теплота, идущую на остывание припоя можно оценить:

$$C_{\text{припоя}}(T_{\text{припоя}} - T_0) = (26 \pm 6) \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (8)$$

Тогда для удельной теплоты плавления получим:

$$\lambda = K_2 m_2 C_{\text{воды}} - C_{\text{припоя}}(T_{\text{припоя}} - T) = (69 \pm 16) \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} \quad (9)$$