

Задание 8.2.

Лёд в стакане. Количество теплоты, передаваемое в единицу времени от нагретого тела к холодному, прямо пропорционально разности температур между этими телами (Закон Ньютона-Рихмана): $Q = \alpha(T_2 - T_1)t$, где α – коэффициент теплопередачи, t – время теплопередачи, T_1 – температура холодного тела, T_2 – нагретого тела.

Определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 от воздуха в комнате к 50 г воды, имеющей температуру 0°C , находящейся в тонкостенном пластиковом стакане (α_1) и в стакане из пенопласта (α_2).

Оборудование: термометр, пластиковый стакан объемом 0,5 л и стакан из пенопласта, крышка с отверстием под термометр (если отверстия нет – сделайте его с помощью термометра), секундомер, ложечка, весы, салфетки, вода в другом пластиковом стакане объемом 0,5 л, лёд (по требованию); миллиметровая бумага (для построения графиков).

Задание.

1. Возьмите тонкостенный пластиковый стакан, налив в него воды (приблизительно 40 г) и охладите её до температуры не более $(4 \div 5)^\circ\text{C}$.
2. Опустите в охлаждённую воду кусочек льда. Каждые две минуты вынимайте этот кусочек льда и быстро взвешивайте его, положив предварительно на весы толстый слой салфетки. Перед каждым взвешиванием обнуляйте показания весов. Фиксируйте массу воды, остающейся на салфетке после каждого взвешивания. Используйте термометр для измерения температуры воды в ходе эксперимента.



3. Повторите эксперимент со вторым стаканом.
4. Постройте графики зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри стакана, от времени для каждого из стаканов.
5. На основе полученных графиков определите коэффициенты теплопередачи α_1 и α_2 .
6. Проведите ещё раз эксперимент с пенопластовым стаканом: первый раз взвесив лёд через 2 - 3 минуты после его погружения в стакан, и второй раз ещё через 15 минут. Вычислите коэффициент теплопередачи α_{22} в данном случае.
7. Если расхождение между α_2 и α_{22} превышает 20%, объясните причину этого расхождения.

Примечание. Выданный вам лёд может иметь отрицательную температуру, что скажется на характере начального участка полученных зависимостей.

Удельная теплота плавления льда $\lambda = 330\,000 \text{ Дж/кг}$.

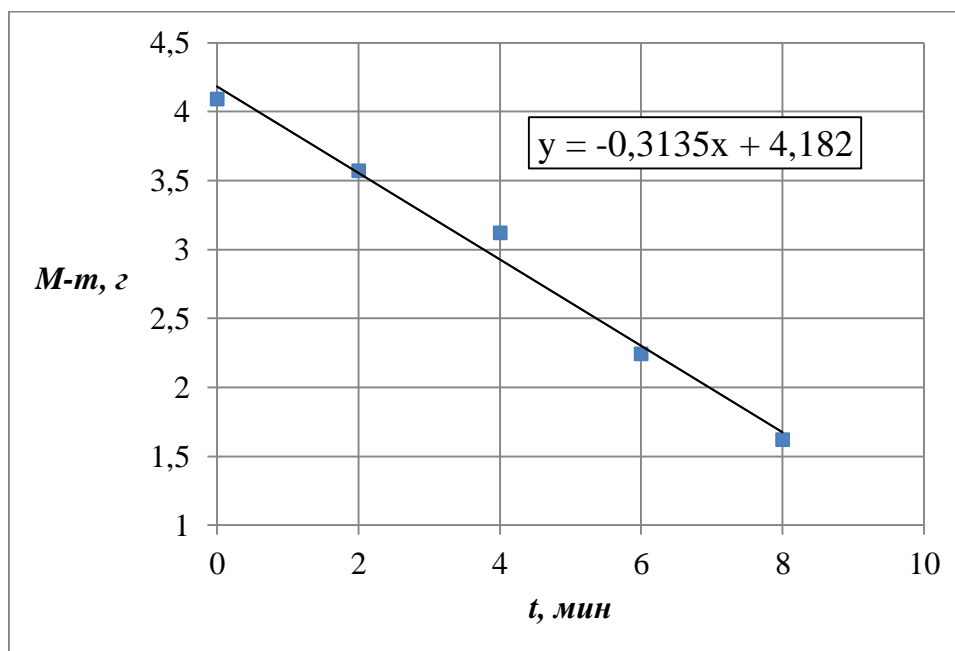
Возможное решение. В исследуемый (пластиковый) стакан наливаем приблизительно 40 г воды, опускаем в неё кусочек льда и термометр, и следим за понижением температуры. Если к моменту окончания таяния первого кусочка льда вода ещё не охладится ниже 4 – 5 °С, опускаем в воду другой кубик льда и убеждаемся, что температура смеси достигла 2 – 3 °С. Измеряем массу воды в стакане. Если она превышает 50 г, излишек отливаем в другой стакан и удаляем из стакана при помощи ложечки остатки льда (если таковые имеются).

Взвешиваем новый кусочек льда, опускаем его в стакан с охлажденной водой и включаем секундомер. Каждые две минуты ложечкой извлекаем лёд из воды, взвешиваем его на весах и возвращаем в стакан. Перед каждым взвешиванием тарируем весы (устанавливаем ноль). На время измерения массы льда останавливаем секундомер. После каждого взвешивания записываем массу воды, оставшейся на салфетке (определяется по разности показаний весов после снятия с них льда и до помещения на них льда).

Результаты измерений заносим в таблицу.

t , мин	M , г	m , г	$M - m$, г
0	4,38	0,29	4,09
2	3,88	0,31	3,57
4	3,34	0,22	3,12
6	2,5	0,26	2,24
8	1,76	0,14	1,62

Здесь M – масса положенного на весы льда, m – масса растаявшего на весах льда, t – время нахождения (и таяния) льда в стакане.



Угловой коэффициент графика:

$$\left| \frac{\Delta(M - m)}{\Delta\tau} \right| \approx 0,31 \text{ г/мин.}$$

Коэффициент теплопередачи вычислим из уравнения теплового баланса:

$$\lambda \left| \frac{\Delta(M - m)}{\Delta\tau} \right| = \alpha(T_2 - T_1)$$

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

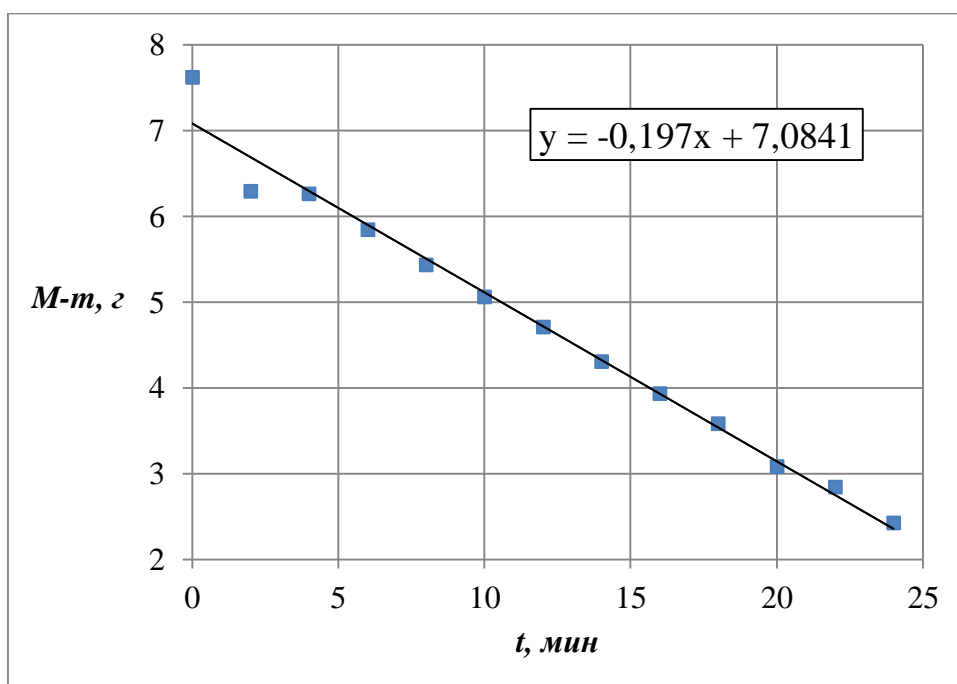
$$T_1 = 5,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_2 = 18,1 \text{ }^{\circ}\text{C},$$

$$\alpha_1 \approx 0,13 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}.$$

Аналогичные измерения проводим для пенопластового стакана.

t , мин	M , г	m , г	$M - m$, г
0	7,69	0,07	7,62
2	6,72	0,43	6,29
4	6,71	0,45	6,26
6	6,29	0,45	5,84
8	5,92	0,49	5,43
10	5,46	0,4	5,06
12	5,06	0,35	4,71
14	4,69	0,39	4,3
16	4,3	0,37	3,93
18	3,93	0,35	3,58
20	3,35	0,27	3,08
22	3,06	0,22	2,84
24	2,89	0,47	2,42

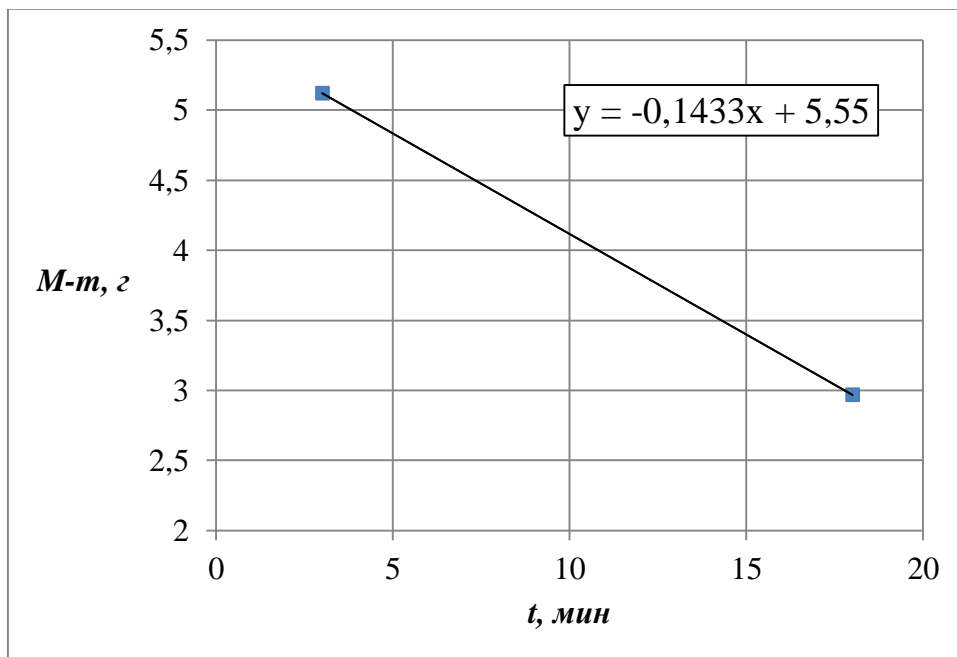


$$\left| \frac{\Delta(M - m)}{\Delta\tau} \right| \approx 0,20 \text{ г/мин.}$$

$$\alpha_2 \approx 0,083 \text{ Вт/}^{\circ}\text{C}.$$

Проведём ещё раз эксперимент с пенопластовым стаканом: первый раз взвесив лёд через 2 - 3 минуты после его погружения в стакан, и второй раз ещё через 15 минут.

t , мин	M , г	m , г	$M - m$, г
3	5,47	0,35	5,12
18	3,08	0,11	2,97



Вычислим коэффициент теплопередачи α_{22} в данном случае.

$$\left| \frac{\Delta(M - m)}{\Delta\tau} \right|_{22} \approx 0,14 \text{ г/мин.}$$
$$\alpha_{22} \approx 0,059 \text{ Вт/}^\circ\text{C.}$$

Различие результатов, полученных графическим методом при нескольких измерениях массы льда с периодичностью 2 минуты, и по двум измерениям, сделанным с интервалом 15 минут, объясняется интенсивным теплообменом кусочка льда и воды в стакане с теплым воздухом в процессе взвешивания кусочков. Этот теплообмен не может быть оценен с достаточной точностью. Расхождение также возникает, если при вычислении массы растаявшего льда не учитывается масса воды, остающейся на весах при взвешивании.

Олимпиада им. Дж. Кл. Максвелла. Региональный этап.
Экспериментальный тур. 23 января 2019 г.

Критерии оценивания (10 баллов)

1	Проведены измерения зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри тонкостенного стакана, от времени. (Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке - 1 балл).	2 балла
2	Проведены измерения зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени. (Если не учтена масса воды, остающаяся на салфетке - 1 балл)	2 балла
3	Проведены измерения зависимости массы воды, переходящей из твердого состояния в жидкое внутри пенопластового стакана, от времени по двум крайним точкам	1 балл
4	Графики измеренных зависимостей: а) на осях указаны измеряемые величины (0,5 балла), б) на оси нанесена шкала (0,5 балла), с) оптимальный масштаб графика (0,5 балла), д) нанесена аппроксимирующая прямая (0,5 балла).	2 балла
5	Записано уравнение теплового баланса.	0,5 балла
6	Вычислен коэффициент α_1 : $\alpha_1 \in [0,10; 0,17] \text{ Вт/}^\circ\text{C}$ – 1 балл, $\alpha_1 \in [0,09; 0,18] \text{ Вт/}^\circ\text{C}$ – 0,5 балла.	1 балл
7	Вычислен коэффициент α_2 : $\alpha_2 \in [0,06; 0,10] \text{ Вт/}^\circ\text{C}$ – 1 балл, $\alpha_2 \in [0,05; 0,11] \text{ Вт/}^\circ\text{C}$ – 0,5 балла.	1 балл
8	Вычислен коэффициент α_{22} и указана причина его отличия от α_2 (если отличие есть).	0,5 балла