

Остывание воды и плавление льда

Условие

Задание 1

«Остывание воды и плавление льда»

Внимание! Проведение измерений требует большого времени. Ознакомьтесь со всем условием, тщательно спланируйте проведение эксперимента. Ампула со льдом будет выдана вам по первому требованию. Учитывайте, что на каждого участника приготовлена только одна ампула! Рекомендуем сначала провести все необходимые измерения, а потом проводить их обработку!

Приборы и оборудование: Пластиковый стакан в калориметре, термометр, секундомер, пластиковая ампула со льдом, горячая вода, мензурка.

Удельная теплоемкость воды $c_0 = 4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$; плотность воды $\rho_0 = 1,0 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; удельная теплоемкость льда $c_1 = 2,1 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$.

Часть 1. «Потерями теплоты пренебречь!»

Все измерения проводите со стаканом, помещенным в пластиковую бутылку, которая играет роль калориметра. Налейте в стакан 150 мл горячей воды. Ее температура должна превышать 50°C. Дождитесь когда температура воды опустится до 45°C и в этот момент погрузите в воду ампулу со льдом и запускайте секундомер. Сначала температура воды опускается очень быстро – будьте готовы быстро записывать результаты! При проведении измерений постоянно слегка перемешивайте воду в стаканчике.

1.1. Измерьте зависимость температуры воды в стакане от времени в диапазоне температур 45°C ÷ 30°C. 1.2. Определите примерно момент времени, когда весь лед в ампуле растает. Укажите значение температуры воды в этот момент времени. 1.3. Определите массу льда, который вам был выдан. Деления шкалы на ампуле заданы в миллилитрах. 1.4. Пренебрегая потерями теплоты, оцените значение удельной теплоты плавления льда.

Часть 2. «Потери теплоты учесть!»

В данной части задания вам необходимо учесть потери теплоты, переходящей от горячей воды в окружающую среду. Для этого необходимо изучить процесс остывания воды в стакане без льда. Налейте в стакан столько горячей воды, чтобы ее уровень в стакане был таким же, как и в первой части задания.

2.1 Измерьте зависимость температуры воды в стакане (без льда) от времени в диапазоне температур $45^{\circ}\text{C} \div 30^{\circ}\text{C}$.

2.2 Постройте графики зависимостей температуры воды от времени, полученных в пп. 1.1 и 2.1.

Потоком теплоты q называется отношение количества теплоты δQ отданной водой к промежутку времени $\Delta\tau$, за который эта теплота отдана

$$q = \frac{\delta Q}{\Delta\tau}. \quad (1)$$

Подсказка. Для расчета потока теплоты рекомендуется использовать следующую методику. У вас получены значения времен τ_k когда температура воды опустилась до температуры t_k . Для каждого значения температуры t_k скорость ее изменения приблизительно рассчитайте по формуле

$$\left(\frac{\Delta t}{\Delta\tau}\right)_k = \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{\tau_{k+1} - \tau_{k-1}},$$

то есть используйте соседние в таблице значения температур и времен.

2.3 Обычно полагают, что поток теплоты между телами пропорционален разности их температур. Для проверки этой гипотезы постройте график зависимости потока теплоты, от воды в окружающую среду, от температуры воды (используйте данные, полученные в п. 2.1). Сделайте обоснованный вывод о применимости высказанной гипотезы о потоке теплоты в этом эксперименте.

2.4 Представьте зависимость потока теплоты от воды в окружающую среду от температуры воды в виде

$$q_0 = at^{\circ} + b, \quad (2)$$

Определите численные значения параметров этой зависимости. Оцените температуру воздуха в калориметре.

2.5 По данным, полученным в п. 1.1, рассчитайте зависимость суммарного потока теплоты от воды (в воздух и в лед) от температуры.

2.6 Используя найденную зависимость (2), рассчитайте поток теплоты от воды ко льду. Постройте график зависимости этой величины от времени.

2.7 На полученном графике укажите интервал времени, в течение которого происходило плавление льда. Найдите среднее значение потока теплоты от воды ко льду в этом интервале.

2.8 Рассчитайте удельную теплоту плавления льда с учетом потерь теплоты в окружающую среду.

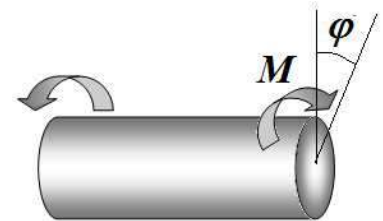
Задание 2.

«Кручение»

Приборы и оборудование: Штатив с зажимом, пластиковая трубка (гелевый стержень), металлическая спица, набор грузов (гвозди), линейка деревянная, линейка пластиковая для измерений, пластилин.

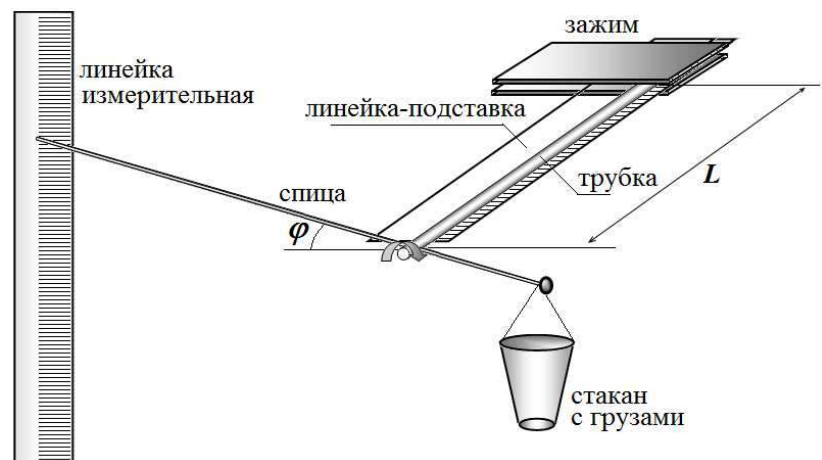
Точное значение массы одного гвоздя вам будет указано. В ходе измерений смещать спицу относительно стержня не следует!

Кручение – один из распространенных видов деформаций. В качестве меры деформации используется угол кручения φ , а характеристикой упругих сил – момент силы упругости M , который в состоянии равновесия равен моменту внешних сил, приложенных к телу. В состоянии равновесия при малых деформациях угол кручения пропорционален приложенному моменту сил (закон Гука)



$$\varphi = KM \quad (1)$$

где K некоторый коэффициент пропорциональности. В данной работе вам необходимо проверить выполнимость закона Гука для деформации кручения пластиковой трубки и исследовать зависимость коэффициента



пропорциональности K от длины деформируемой части трубки L . Для проведения исследований вам предлагается использовать следующую установку. Исследуемая трубка вместе с линейкой-подставкой (для уменьшения прогиба) зажата в лапке штатива. Конец трубки

проткнут длинной спицей, на один конец которой подвешен пластиковый стаканчик, в который можно помещать грузы – одинаковые гвозди. Второй конец спицы движется вблизи вертикальной измерительной линейки. Передвигать спицу относительно трубки стержня не следует. В качестве подставки для линейки используется кусок пластилина. При необходимости линейку можно передвигать. Измерения следует проводить, начиная с больших длин свободной части трубки L .

Часть 1. Закон Гука.

Измерения проводите при максимальной длине трубки. Углы деформации следует измерять в радианах. При малых углах тангенс угла приблизительно равен самому углу, измеренному в радианах.

1.1 Измерьте зависимость угла кручения φ от числа гвоздей, помещенных в стакан. Измерения проведите в двух направлениях: при нагрузке (постепенно увеличивая массу груза) и при разгрузке (уменьшая массу груза в стакане).

1.2 Постройте график полученной зависимости. Сделайте обоснованный вывод о применимости закона Гука в этом случае.

1.3 Объясните, почему зависимости угла кручения от приложенного момента сил полученные при нагрузке и разгрузке не совпадают.

1.4 Рассчитайте значение коэффициента пропорциональности K в формуле (1) с максимальной возможной точностью. Используйте для этого данные полученные только при «нагрузке» стержня. Укажите физический смысл этого коэффициента.

Часть 2. Коэффициент пропорциональности.

В данной части работы измерения угла кручения проводите только в одном направлении – при последовательном увеличении нагрузки на стержень. Считайте, что закон Гука выполняется!

2.1 Проведите измерения зависимости угла кручения от числа гвоздей, помещенных в стакан для разных длин L деформируемой части стержня.

2.2 На одном бланке постройте графики полученных зависимостей.

2.3 Рассчитайте значения коэффициента K для всех длин L деформируемой части стержня.

2.4 Из теории упругости следует, что коэффициент зависит от длины деформируемой части трубки по закону

$$K = CL^\alpha, \quad (2)$$

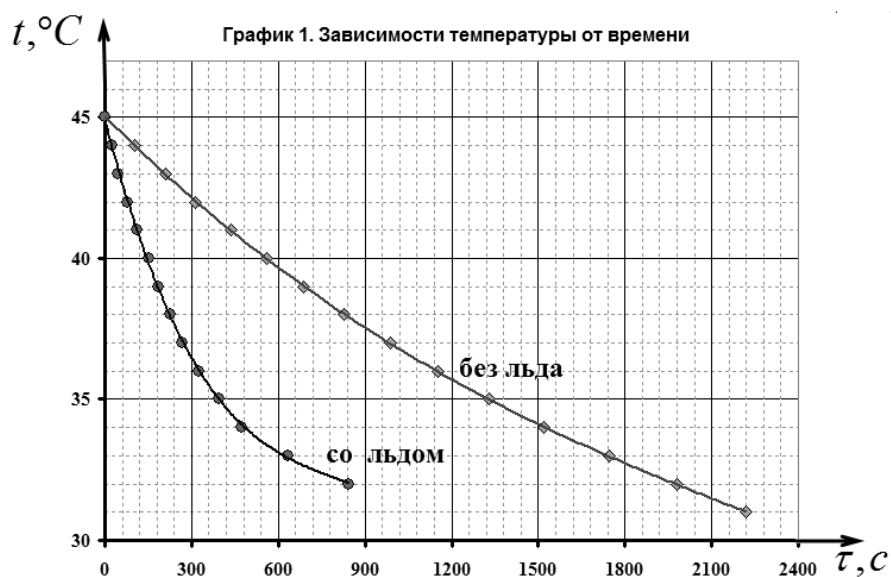
где C и α - некоторые постоянные величины. Проверьте выполнимость данной формулы в данной задаче. Определите численные значения параметра α . Ответ обоснуйте графически.

Решение

Задание 9.1 «Остывание воды и плавление льда»

Экспериментально удобней измерять времена, когда температура достигает определенного значения, так как точность измерения времен значительно выше точности измерения температуры. В Таблице 1 приведены результаты измерения именно таких времен при измерениях со льдом и безо льда. На графике 1 показаны, построенные по этим данным зависимости температуры воды в стаканчике от времени.

Таблица 1. Зависимость температуры воды от времени.



$t, ^\circ\text{C}$	τ, c	
	Со льдом	Без льда
45	0	398
44	23	501
43	47	609
42	77	711
41	111	834
40	151	956
39	187	1086
38	225	1227
37	269	1384
36	327	1551
35	395	1726
34	475	1915
33	635	2143
32	842	2378
31	1081	2618
30		2908

«На глаз» лед полностью расплавился, когда температура воды понизилась примерно до 35°C. Масса воды в стаканчике $m_1 = 150$ г, масса льда в ампуле $m_0 = 10$ г. Расчет удельной теплоты плавления льда по эти данным дает следующий результат

$$\lambda = \frac{cm_1\Delta t}{m_0} = \frac{4,2 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{К}} \cdot 0,15 \text{ кг} \cdot 10^\circ\text{C}}{0,010 \text{ кг}} \approx 630 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}, \quad (1)$$

Что почти в два раза превышает табличное значение. Основные причины такой ошибки заключается в невозможности точно установить момент времени, когда началось плавление, а также пренебрежение потерями в окружающую среду. Поэтому необходимо провести рекомендованную процедуру обработки результатов.

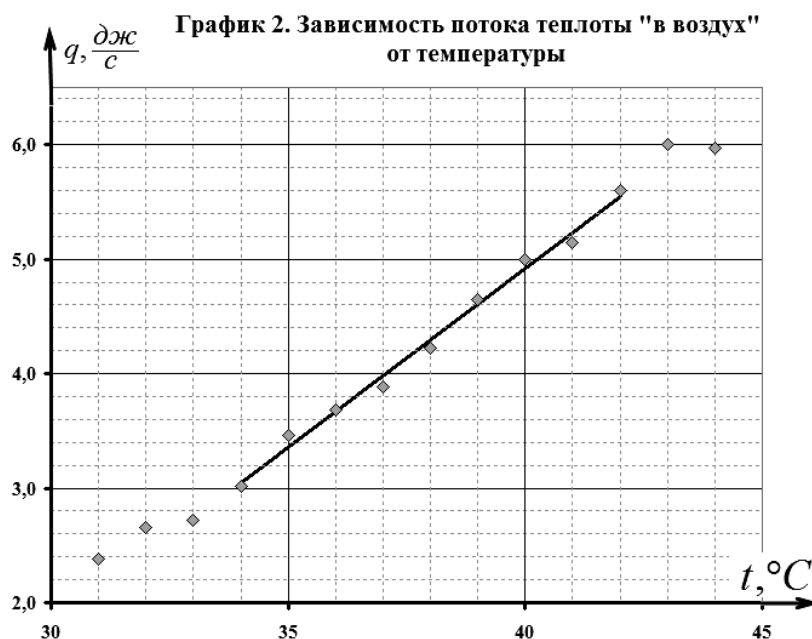
В Таблице 2 приведены результатов расчетов зависимости потока теплоты от воды в окружающую среду. Для расчета теплоты использовалась следующая формула

$$q(t_k) \approx cm_1 \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{\tau_{k+1} - \tau_{k-1}} = 630 \frac{t_{k+1} - t_{k-1}}{\tau_{k+1} - \tau_{k-1}} \quad (2)$$

где использованы обозначения (и пояснения) из условия задания. Рядом приведен график этой зависимости.

Таблица 2. Зависимость потока теплоты «в воздух» от температуры.

$t, ^\circ\text{C}$	$\tau, \text{с}$	$\langle t \rangle, ^\circ\text{C}$	$q_0, \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$
45	0		
44	103	44	5,97
43	211	43	6,00
42	313	42	5,60
41	436	41	5,14
40	558	40	5,00
39	688	39	4,65
38	829	38	4,23
37	986	37	3,89
36	1153	36	3,68
35	1328	35	3,46
34	1517	34	3,02
33	1745	33	2,72
32	1980	32	2,65
31	2220	31	2,38



Не смотря на погрешности измерений, четко видна линейная зависимость между потоком теплоты и температурой воды в стаканчике. Несколько начальных точек (при высоких температурах) выпадают из этой зависимости. Возможно, что на этом этапе еще не установился стационарный режим, разогрев стаканчика, термометра и т.д.

Таким образом, экспериментальные данные подтверждают гипотезу, высказанную в условии: поток теплоты пропорционален разности температур воды и окружающего воздуха.

На линейном участке зависимость потока от температуры имеет вид

$$q_0 = at^\circ + b = a(t - t_0), \quad (3)$$

здесь $t_0 = -\frac{b}{a}$ предполагаемая температура воздуха, окружающего стаканчик. Значения параметров, рассчитанные по линейному участку зависимости равны

$$a \approx 0,31 \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{K}}, \quad b \approx -7,6 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \Rightarrow t_0 \approx 25^\circ\text{C}. \quad (4)$$

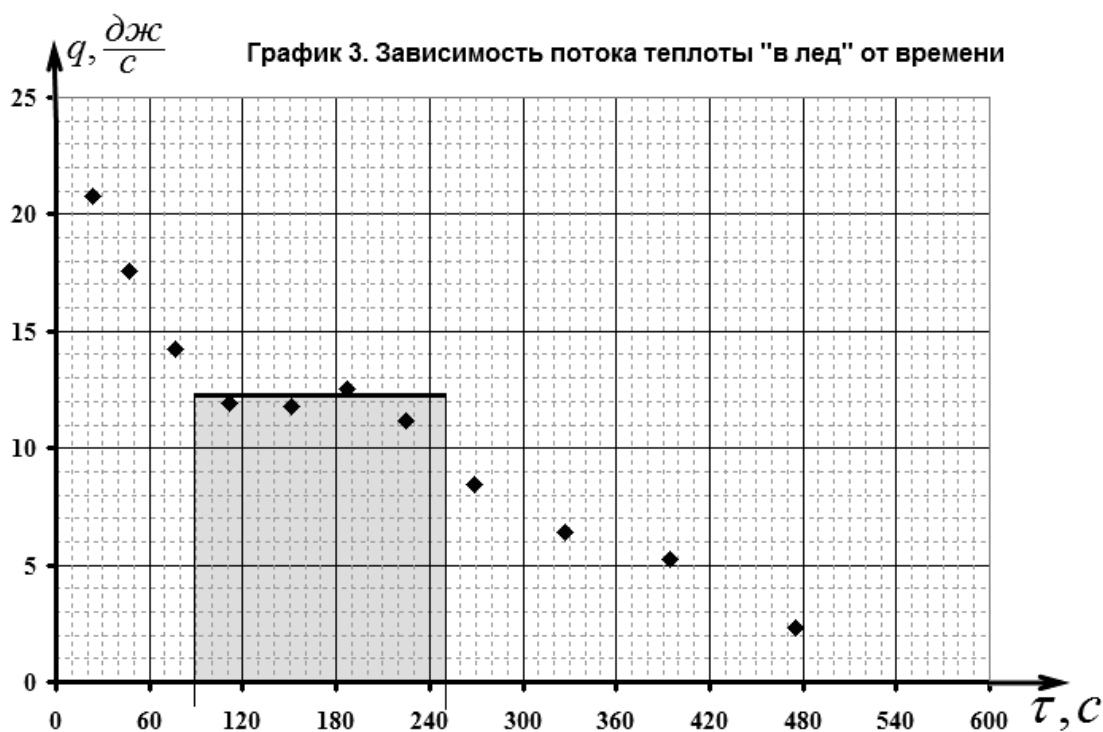
В Таблице 3. Приведены расчеты суммарного потока теплоты от воды, при измерениях «со льдом». В последнем столбце записаны рассчитанные зависимости потока теплоты «в лед», как разность между общим потоком и потоком «в воздух».

Для уменьшения погрешностей значения потоков теплоты «в воздух» рассчитаны по усредненной формуле (3).

Таблица 3. Расчет потока теплоты «в лед»

$t, ^\circ C$	τ, c	$\langle t \rangle, ^\circ C$	$q, \frac{Дж}{c}$	$q_0 = a\langle t \rangle + b$	$q - \bar{q}_0, \frac{Дж}{c}$
45	0				
44	23	44	26,81	6,06	20,75
43	47	43	23,33	5,75	17,58
42	77	42	19,69	5,44	14,25
41	111	41	17,03	5,13	11,90
40	151	40	16,58	4,82	11,76
39	187	39	17,03	4,51	12,52

38	225	38	15,37	4,20	11,17
37	269	37	12,35	3,89	8,46
36	327	36	10,00	3,58	6,42
35	395	35	8,51	3,27	5,24
34	475	34	5,25	2,96	2,29
33	635	33	3,43	2,65	0,78
32	842	32	2,83	2,34	0,49
31	1081				



На графике 3 показана полученная зависимость потока теплоты, поступающего ко льду, от времени. На этом графике выделяется «плато» - участок почти постоянного потока теплоты. При плавлении льда его температура остается постоянной, поэтому и поток теплоты также стабилизируется. Эта область выделена на рисунке. Судя по графику время плавления составляет примерно 160 с, при среднем значении потока $q \approx 12 \frac{Дж}{c}$.

Следовательно, удельная теплота плавления льда оценивается

$$\lambda = \frac{q\Delta\tau}{m_0} \approx 200 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}. \quad (5)$$

Так как измерения и обработка их результатов носит оценочный характер, то расчет погрешностей в данной работе проводить не имеет особого смысла.

Полученный результат тоже не очень хорошо совпадает с табличным, но может табличное значение не верно?