

Условие

Задание 9-2. Уравнение теплового баланса.

Приборы и оборудование: Термометр электронный, калориметр, мензурка, стаканы одноразовые, цилиндр металлический.

В данном задании вам необходимо экспериментально проверить справедливость уравнения теплового баланса и проанализировать возможные причины его кажущегося нарушения.

Расчет погрешности в данной работе не требуется.

Часть 1. Смешение воды.

Налейте в калориметр $V_0 = 50$ мл горячей воды, ее температура должна быть не менее 60° .

1.1 Измерьте температуру горячей воды $t_{\text{гор}}$ в калориметре. Измерьте температуру холодной воды $t_{\text{хол}}$.

Небольшими порциями (примерно по 20 мл) добавляйте холодную воду в калориметр. После добавления каждой порции холодной воды, перемешивайте воду в калориметре, выждите 20-25 с, после чего проводите измерение температуры воды в калориметре.

1.2 Измерьте зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V . 1.3 Постройте график полученной зависимости $t(V)$. 1.4 Получите теоретическую формулу, описывающую зависимость температуры воды в калориметре от объема налитой холодной воды. Укажите, какие приближения Вы использовали при выводе этой формулы. 1.5 На бланке с экспериментальной зависимостью $t(V)$ постройте график теоретической зависимости. Укажите возможные причины, объясняющие отклонения экспериментальных данных от теоретических значений. Укажите, в каких диапазон температур, какая из причин является преобладающей. 1.6 Проведите линеаризацию полученной зависимости, т.е. предложите такую функцию от температуры смеси $f(t)$ (она может включать и другие известные параметры), чтобы она была пропорциональна отношению объема налитой холодной воды к начальному объему горячей воды

$$f(t) = A \frac{V}{V_0} \quad (1)$$

Рассчитайте теоретическое значение коэффициента пропорциональности $A_{\text{теор}}$ в этой формуле. 1.7 На основании экспериментальных данных постройте график зависимости введенной вами функции $t(V)$ от отношения $\frac{V}{V_0}$. Найдите коэффициент наклона полученной экспериментальной зависимости $A_{\text{эксп}}$. 1.8 Укажите основную причину различия экспериментального и теоретического значений коэффициентов $A_{\text{эксп}}$ и $A_{\text{теор}}$.

Часть 2. Теплообмен с металлическим цилиндром.

Повторите измерения Части 1, если в калориметр помещен металлический цилиндр. Поместите в калориметр металлический цилиндр, добавьте в калориметр 50 мл горячей воды.

2.1 Измерьте температуру горячей воды $t_{\text{гор}}$ в калориметре. Измерьте температуру холодной воды $t_{\text{хол}}$.

Небольшими порциями (примерно по 20 мл) добавляйте холодную воду в калориметр. После добавления каждой порции холодной воды, перемешивайте воду в калориметре, выждите 20-25 с, после чего проводите измерение температуры воды в калориметре.

2.2 Измерьте зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V . 2.3 На основании экспериментальных данных постройте график зависимости введенной вами функции $t(V)$ от отношения $\frac{V}{V_0}$. Найдите коэффициент наклона полученной экспериментальной зависимости $A_{\text{эксп}}$. 2.4 Выразите теоретическое значение коэффициента наклона зависимости $t(V)$ через теплоемкости воды и цилиндра. 2.5 Можно ли

по найденному экспериментальному значению коэффициента наклона, найти теплоемкость цилиндра?



Республиканская физическая олимпиада 2023 года (3 этап)

Экспериментальный тур

Решение

Задание 9-2. Уравнение теплового баланса. (Решение).

Часть 1. Смешение воды.

1.1 Измеренные значения температур: Горячая вода $t_{\text{гор.}} = 70,2^\circ$; Холодная вода $t_{\text{хол.}} = 20,6^\circ$.

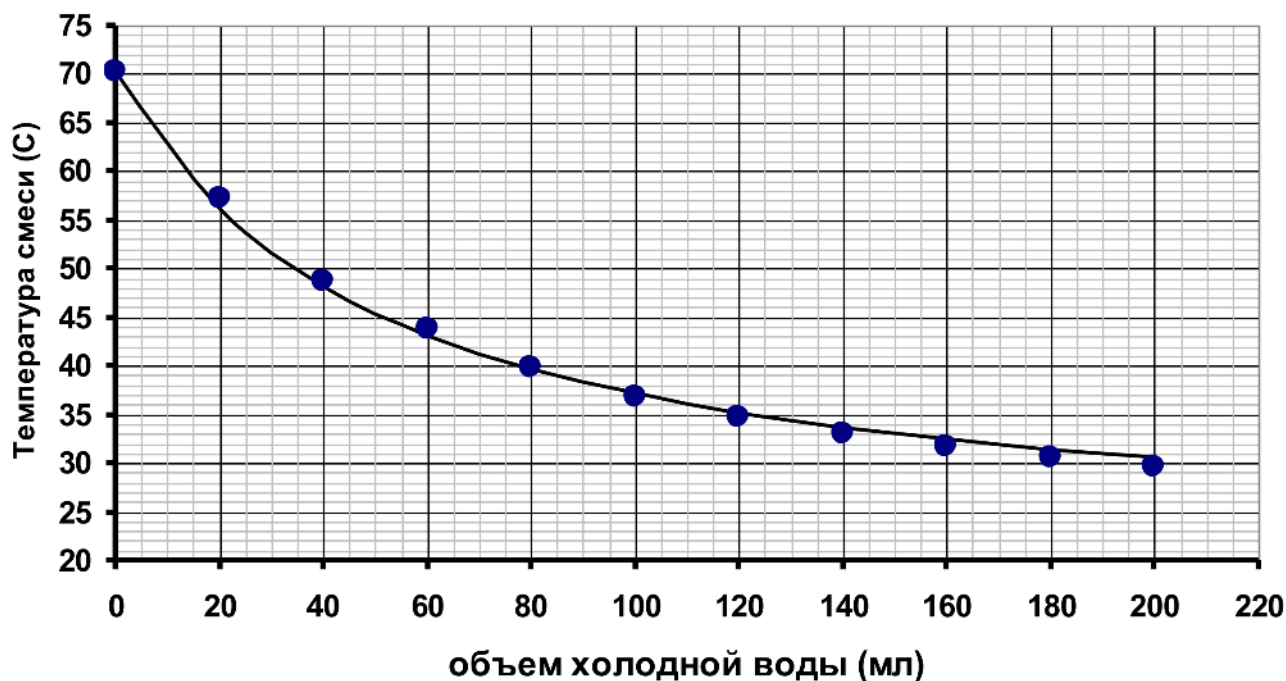
1.2 Измеренная зависимость температуры воды в калориметре t от объема налитой в калориметр холодной воды V Приведена в Таблице 1.

Таблица 1.

V, мл	**$t, ^\circ C$**	**V/V_0**	f(x)	T teor
0	70,2	0	0,00	70,2
20	57,3	0,4	0,35	56,0
40	48,8	0,8	0,76	48,2
60	43,8	1,2	1,14	43,1
80	39,8	1,6	1,58	39,7
100	36,9	2	2,04	37,1
120	34,7	2,4	2,52	35,2
140	33,1	2,8	2,97	33,7
160	31,8	3,2	3,43	32,4
180	30,6	3,6	3,96	31,4
200	29,7	4	4,45	30,5

1.3 График полученной зависимости показан на рисунке.

Зависимость температуры смеси от объема холодной воды



1.4 Пренебрегая теплоемкостью калориметра и потерями теплоты в окружающий воздух, запишем уравнение теплового баланса (количество теплоты, отданное горячей водой, равно количеству теплоты, полученной холодной водой):

$$c\rho V_0(t_{\text{гор.}} - t) = c\rho V(t - t_{\text{хол.}}). \quad (1)$$

Здесь c - удельная теплоемкость воды, ρ - ее плотность. Из этого уравнения находим температуру смеси:

$$t = \frac{V_0 t_{\text{гор.}} + V t_{\text{хол.}}}{V_0 + V}. \quad (2)$$

1.5 Результаты расчетов температур по этой формуле приведены в последнем столбце таблицы 1, на графике эта функция изображена сплошной линией. Видно, что в начальные моменты времени (при высоких температурах) экспериментальные значения оказываются выше теоретических. Это можно объяснить влиянием теплоемкости калориметра, чем мы пренебрегли при выводе формулы (2). На больших временах (при низких температурах) экспериментальные значения меньше теоретических – это можно объяснить потерями теплоты в окружающую среду.

1.6 Из уравнения (1) непосредственно следует, что искомая линеаризующая функция имеет вид

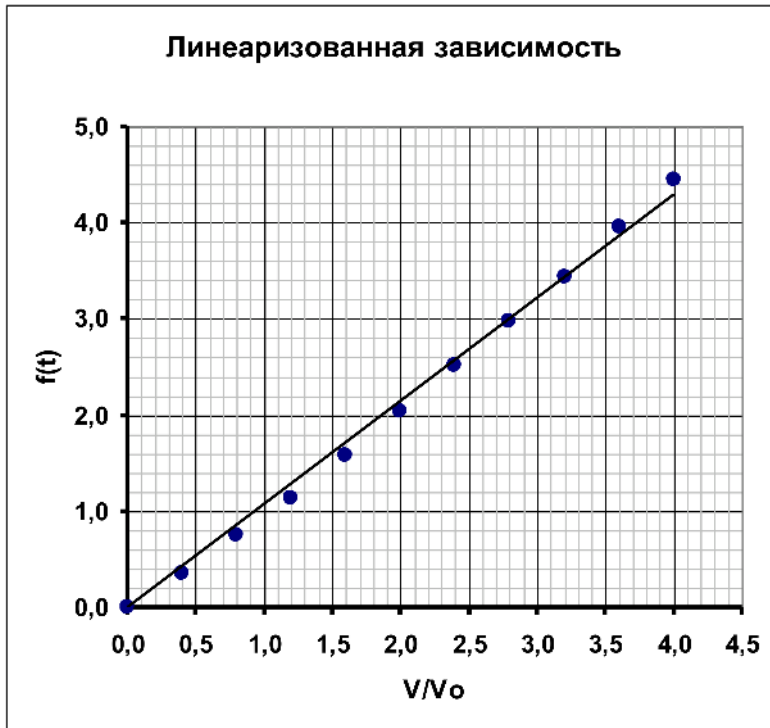
$$f(t) = \frac{t_{\text{гор.}} - t}{t - t_{\text{хол.}}} = \frac{V}{V_0}. \quad (3)$$

Как следует из этой формулы теоретическое значение коэффициента равно

$$A_{\text{теор.}} = 1. \quad (4)$$

1.7 Результаты расчетов функции $f(t)$ также приведены в Таблице 1. График этой линеаризованной функции показан на следующем рисунке. Значение коэффициента наклона этого графика равно

$$A_{\text{эксп.}} = 1,07. \quad (5)$$



1.8 Основная причина полученного расхождения – потери теплоты. Действительно, потери приводят к уменьшению температуры смеси, как следствие к увеличению введенной функции $f(t)$

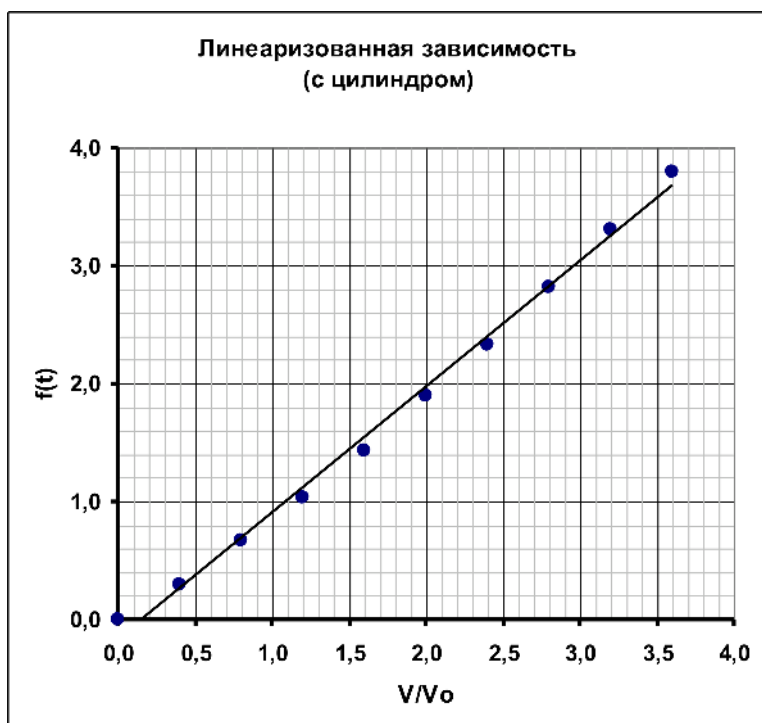
Часть 2. Теплообмен с металлическим цилиндром.

2.1 Измеренные значения температур: Горячая вода $t_{\text{гор.}} = 57,1^\circ$; Холодная вода $t_{\text{хол.}} = 23,5^\circ$.

2.2 Измеренная зависимость температуры воды в калориметре с цилиндром t от объема налитой в калориметр холодной воды V Приведена в Таблице 2.

Таблица 2.

** V , мл**	** t , $^\circ\text{C}$ **	** $f(x)$ **
0	57,1	0,00
20	49,4	0,30
40	43,6	0,67
60	40,0	1,04
80	37,3	1,43
100	35,1	1,90
120	33,6	2,33
140	32,3	2,82
160	31,3	3,31
180	30,5	3,80



2.3 В таблице 2 приведены результаты расчетов функции $f(x)$, график этой функции со сглаживающей прямой показан на рисунке. Значение коэффициента наклона этой зависимости

$$A_{\text{экс.}} = 1,06. \quad (6)$$

2.4 Уравнение теплового баланса с учетом теплоемкости цилиндра имеет вид

$$(c\rho V_0 + C_{\text{цил.}})(t_{\text{гор.}} - t) = c\rho V(t - t_{\text{хол.}}). \quad (7)$$

Тогда линеаризующая функция равна

$$\frac{t_{\text{гор.}} - t}{t - t_{\text{хол.}}} = \frac{1}{1 + \frac{C_{\text{цил.}}}{c\rho V_0}} \frac{V}{V_0}. \quad (8)$$

2.5 Из формулы (8) следует, что коэффициент наклона линеаризованной зависимости должен быть меньше 1. Однако Экспериментально получено, значение большее 1: $A_{\text{экс.}} = 1,06$. Если формально из формулы (8) найти значение теплоемкости цилиндра, то она окажется отрицательной, что абсурдно! Следовательно, погрешности формулы (8), возникающие из-за пренебрежения потерями теплоты, не позволяют рассчитать теплоемкость цилиндра.

